

明細書

変倍光学系及びそれを用いた電子機器

技術分野

本発明は、変倍光学系及びそれを用いた電子機器に関するものであり、特に、コンパクトな変倍光学系、及び、そのような変倍光学系を用いた電子機器に関する。この電子機器には、例えば、デジタルカメラ、ビデオカメラ、デジタルビデオユニット、パーソナルコンピュータ、モバイルコンピュータ、携帯電話、情報携帯端末がある。

背景技術

近年、PDAと呼ばれる情報携帯端末や携帯電話が爆発的に普及してきている。この機器には、デジタルカメラの機能や、デジタルビデオの機能が附加されたものもある。これらの機能を実現するために、撮像素子として、CCD (Charge Coupled Device) やCMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) センサーが使われている。このような機器を小型化するには、受光面の有効エリアが比較的小さい撮像素子を使うのが良い。この場合、光学系の性能を高性能に保ったままで、小型化と低コスト化の両立が必要となる。このとき、小型化への取り組みとしては、レンズ枚数の削減が行われている。一方、工数の削減による低コスト化への取り組みとしては、例えば特許文献1に、レンズホール内にレンズを加工成形する製造法が提案されている。

光学系を構成するレンズ枚数を削減するには、非球面レンズを用いることが必要となる。この非球面レンズの作製には、一般にプリフォームを加熱軟化状態で押圧して成形する加工法（以下、従来の加工法とする。）が用いられている。この従来の加工法では、必要外径よりもやや大きく成形し、心取り（外径丸め）を行ってレンズ鏡枠に組み込むようになっている。そのため、例えば正レンズを成形するには、必要外径での外周部厚さは心取り時の外周部厚さよりも厚くなってしまう。また、小型化のためにレンズ枚数を削減すると、正レンズを含めた各レンズの屈折力は大きくなるので、レンズの肉厚も厚くなる。そ

のため、心取り時の外周部厚さを確保する必要から、必要外径での外周部厚さはさらに厚くなってしまい、小型化の効果が十分得られるとは言えない。

一方、特許文献1では、小型化について述べられていないだけでなく、小型化するための条件についても述べられていない。

〔特許文献1〕

特開昭61-114822号公報

発明の開示

本発明は従来技術のこのような状況に鑑みてなされたものであり、その目的は、低コスト化と小型化との両立が効果的に可能な変倍光学系とそれを用いた電子機器を提供することである。

本発明の変倍光学系は、負の屈折力を有するレンズ群と、正の屈折力を有するレンズ群とから構成され、少なくとも1枚のレンズが、成形後において少なくとも光学機能面を含む面となる第1の素材と、成形後において少なくとも光学機能面を含む面以外の面となる第2の素材とを用いて成形され、第1の素材と第2の素材とが一体化された一体レンズからなることを特徴とする。

また、本発明の変倍光学系は、第2の素材が遮光性を有するものであることを特徴とする。

また、本発明の変倍光学系は、第2の素材が、金属、サーメット又はセラミックスであることを特徴とする。

また、本発明の変倍光学系は、光学系を構成する少なくとも1つの光学素子の光学材料として有機無機複合材料を用いることを特徴とする。

また、本発明の電子機器は、上記の変倍光学系と、その像側に配された電子撮像素子とを有することを特徴とする。

図面の簡単な説明

図1は変倍光学系に用いる一体レンズの製造方法を説明するための図であって、成形前の配置(a)と成形後の配置(b)を示す図である。

図2は図1の製造方法で成形された一体レンズを示す斜視図である。

図3は変倍光学系に用いる一体レンズの別の製造方法を説明するための図であって、成

成形前の配置（a）と成形後の配置（b）を示す図である。

図4は図3の製造方法で成形された一体レンズを示す斜視図である。

図5は変倍光学系に用いる一体レンズの更に別の製造方法を説明するための図であって、成形前の配置（a）と成形後の配置（b）を示す図である。

図6は図5の製造方法で成形された一体レンズを示す斜視図である。

図7は第1の変倍光学系の実施例1-1のレンズ断面図であって、無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）での断面を示す。

図8は第1の変倍光学系の実施例1-2のレンズ断面図であって、無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）での断面を示す。

図9は第1の変倍光学系の実施例1-1の収差図であって、無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）での収差を示す。

図10は第1の変倍光学系の実施例1-2の収差図であって、無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）での収差を示す。

図11は第1の変倍光学系の実施例1-1に用いる一体レンズの1例を示す断面図である。

図12は第1の変倍光学系の実施例1-2に用いる一体レンズの1例を示す断面図である。

図13は第1の変倍光学系の実施例1-2に用いる一体レンズの別の例を示す断面図である。

図14は第2の変倍光学系の実施例2-1のレンズ断面図であって、無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）での断面を示す。

図15は第2の変倍光学系の実施例2-2のレンズ断面図であって、無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）での断面を示す。

図16は第2の変倍光学系の実施例2-1の収差図であって、無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）での収差を示す。

図17は第2の変倍光学系の実施例2-2の収差図であって、無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）での収差を示す。

図18は第2の変倍光学系の実施例2-1に用いる一体レンズの1例を示す断面図である。

図19は第2の変倍光学系の実施例2-2に用いる一体レンズの1例を示す断面図であ

る。

図20は第3の変倍光学系の実施例3-1のレンズ断面図であって、無限遠物点合焦時の広角端(a)、中間状態(b)、望遠端(c)での断面を示す。

図21は第3の変倍光学系の実施例3-2のレンズ断面図であって、無限遠物点合焦時の広角端(a)、中間状態(b)、望遠端(c)での断面を示す。

図22は第3の変倍光学系の実施例3-1の収差図であって、無限遠物点合焦時の広角端(a)、中間状態(b)、望遠端(c)での収差を示す。

図23は第3の変倍光学系の実施例3-2の収差図であって、無限遠物点合焦時の広角端(a)、中間状態(b)、望遠端(c)での収差を示す。

図24は第3の変倍光学系の実施例3-1に用いる一体レンズの1例を示す断面図である。

図25は第3の変倍光学系の実施例3-2に用いる一体レンズの1例を示す断面図である。

図26は第4の変倍光学系の実施例4-1のレンズ断面図であって、無限遠物点合焦時の広角端(a)、中間状態(b)、望遠端(c)での断面を示す。

図27は第4の変倍光学系の実施例4-2のレンズ断面図であって、無限遠物点合焦時の広角端(a)、中間状態(b)、望遠端(c)での断面を示す。

図28は第4の変倍光学系の実施例4-1の収差図であって、無限遠物点合焦時の広角端(a)、中間状態(b)、望遠端(c)での収差を示す。

図29は第4の変倍光学系の実施例4-2の収差図であって、無限遠物点合焦時の広角端(a)、中間状態(b)、望遠端(c)での収差を示す。

図30は第4の変倍光学系の実施例4-1に用いる一体レンズの1例を示す断面図である。

図31は第4の変倍光学系の実施例4-2に用いる一体レンズの1例を示す断面図である。

図32は第5の変倍光学系の実施例5-1のレンズ断面図であって、無限遠物点合焦時の広角端(a)、中間状態(b)、望遠端(c)での断面を示す。

図33は第5の変倍光学系の実施例5-2のレンズ断面図であって、無限遠物点合焦時の広角端(a)、中間状態(b)、望遠端(c)での断面を示す。

図34は第5の変倍光学系の実施例5-1の収差図であって、無限遠物点合焦時の広角

端 (a)、中間状態 (b)、望遠端 (c) での収差を示す。

図 3 5 は第 5 の変倍光学系の実施例 5-2 の収差図であって、無限遠物点合焦時の広角端 (a)、中間状態 (b)、望遠端 (c) での収差を示す。

図 3 6 は第 5 の変倍光学系の実施例 5-1 に用いる一体レンズの 1 例を示す断面図である。

図 3 7 は第 5 の変倍光学系の実施例 5-2 に用いる一体レンズの 1 例を示す断面図である。

図 3 8 は第 6 の変倍光学系の実施例 6-1 のレンズ断面図であって、無限遠物点合焦時の広角端 (a)、中間状態 (b)、望遠端 (c) での断面を示す。

図 3 9 は第 6 の変倍光学系の実施例 6-2 のレンズ断面図であって、無限遠物点合焦時の広角端 (a)、中間状態 (b)、望遠端 (c) での断面を示す。

図 4 0 は第 6 の変倍光学系の実施例 6-3 のレンズ断面図であって、無限遠物点合焦時の広角端 (a)、中間状態 (b)、望遠端 (c) での断面を示す。

図 4 1 は第 6 の変倍光学系の実施例 6-1 の収差図であって、無限遠物点合焦時の広角端 (a)、中間状態 (b)、望遠端 (c) での収差を示す。

図 4 2 は第 6 の変倍光学系の実施例 6-2 の収差図であって、無限遠物点合焦時の広角端 (a)、中間状態 (b)、望遠端 (c) での収差を示す。

図 4 3 は第 6 の変倍光学系の実施例 6-3 の収差図であって、無限遠物点合焦時の広角端 (a)、中間状態 (b)、望遠端 (c) での収差を示す。

図 4 4 は第 6 の変倍光学系の実施例 6-1 に用いる一体レンズの 1 例を示す断面図である。

図 4 5 は第 6 の変倍光学系の実施例 6-2 に用いる一体レンズの 1 例を示す断面図である。

図 4 6 は第 6 の変倍光学系の実施例 6-3 に用いる一体レンズの 1 例を示す断面図である。

図 4 7 は第 7 の変倍光学系の実施例 7-1 のレンズ断面図であって、無限遠物点合焦時の広角端 (a)、中間状態 (b)、望遠端 (c) での断面を示す。

図 4 8 は第 7 の変倍光学系の実施例 7-2 のレンズ断面図であって、無限遠物点合焦時の広角端 (a)、中間状態 (b)、望遠端 (c) での断面を示す。

図 4 9 は第 7 の変倍光学系の実施例 7-3 のレンズ断面図であって、無限遠物点合焦時

の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）での断面を示す。

図50は第7の変倍光学系の実施例7-1の収差図であって、無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）での収差を示す。

図51は第7の変倍光学系の実施例7-2の収差図であって、無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）での収差を示す。

図52は第7の変倍光学系の実施例7-3の収差図であって、無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）での収差を示す。

図53は第7の変倍光学系の実施例7-1に用いる一体レンズの1例を示す断面図である。

図54は第7の変倍光学系の実施例7-2に用いる一体レンズの1例を示す断面図である。

図55は第7の変倍光学系の実施例7-2に用いる別の一體レンズの1例を示す断面図である。

図56は第7の変倍光学系の実施例7-3に用いる一体レンズの1例を示す断面図である。

図57は本発明による変倍光学系を組み込んだデジタルカメラの外観を示す前方斜視図である。

図58は図57のデジタルカメラの後方斜視図である。

図59は図57のデジタルカメラの断面図である。

図60は本発明による変倍光学系を対物光学系として組み入れたパソコンのカバーを開いた前方斜視図である。

図61はパソコンの撮影光学系の断面図である。

図62は図60の状態の側面図である。

図63は本発明による変倍光学系を対物光学系として組み入れた携帯電話の正面図（a）、側面図（b）、その撮影光学系の断面図（c）である。

発明を実施するための最良の形態

本実施形態の変倍光学系は、負の屈折力を有するレンズ群と、正の屈折力を有するレンズ群とから構成され、少なくとも1枚のレンズが、成形後において少なくとも光学機能面を含む面となる第1の素材と、成形後において少なくとも光学機能面を含む面以外の面と

なる第2の素材とを用いて成形され、第1の素材と第2の素材とが一体化された一体レンズからなる。

ここで、変倍光学系の具体的な構成としては、以下の7つのタイプがある。

- (1) 第1群が負レンズ群、第2群が正レンズ群。
- (2) 第1群が正レンズ群、第2群が負レンズ群。
- (3) 第1群が負レンズ群、第2群が正レンズ群、第3群が正レンズ群。
- (4) 第1群が負レンズ群、第2群が正レンズ群、第3群が正レンズ群、第4群が負レンズ群。
- (5) 第1群が負レンズ群、第2群が正レンズ群、第3群が負レンズ群、第4群が正レンズ群。
- (6) 第1群が負レンズ群、第2群が正レンズ群、第3群が正レンズ群、第4群が正レンズ群。
- (7) 第1群が正レンズ群、第2群が負レンズ群、第3群が正レンズ群、第4群が正レンズ群。

なお、各タイプについての詳細な説明は、後述する。

このような変倍光学系において、少なくとも1枚の一体レンズの最薄部厚さが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1\text{ mm} < t < 0.5\text{ mm} \quad \dots (1)$$

ただし、 t ：一体レンズの最薄部厚さである。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。一体レンズの最薄部の厚さを小さくすると、レンズを小さく成形できる。その結果、レンズ全長の短縮ができる。そこで、条件式(1)を満たすことで、光学性能を保ちながら小型化が実現できる。条件式(1)の下限の0.1 mmを下回ると、レンズが薄すぎるために、外圧や温度等によって変形してしまい、光学性能を保つことが難しくなる。上限の0.5 mmを越えると、最薄部厚さが大きくなるために、レンズも大きくなる。

さらに、以下の条件式(1-2)を満たすのが好ましい。この場合、光学性能を保ちながら、光学系を小型化することができる。

$$0.15\text{ mm} < t < 0.4\text{ mm} \quad \dots (1-2)$$

さらに、以下の条件式(1-3)を満たすのがより好ましい。この場合、光学性能を保ちながら、光学系をより小型化することができる。

0. 2 mm < t < 0. 35 mm ··· (1-3)

また、上記条件を満足する一体レンズが、正の屈折力を有することが好ましい。

この構成をとる理由とその作用を説明する。正レンズを一体レンズとすると、正レンズのコバ厚を薄くできる。よって、全長を短縮することができる。

また、一体レンズを成形する際、1つの成形機で複数の光学機能面を同時に成形するこことが好ましい。

この構成をとる理由とその作用を説明する。1つの成形機で複数面を並列して同時に成形すると、1面あたりの加工時間が短縮できる。また、このように1つの成形機で複数面同時に成形することにより、面数当たりの押し型の寿命を長期化できる。よって、コストを大幅に削減できる。

また、第1の素材が、ガラスであることが好ましい。

この構成をとる理由とその作用を説明する。第1の素材として高屈折率を示すガラスを用いることで、少ない枚数で球面収差・像面弯曲等の諸収差を良好に補正することができる。また、ガラスを用いることで、温度変化の影響を受け難くなる。そのため、温度変化時のバックフォーカス変動が小さい光学系を実現することができる。もちろん、第1の素材として、他にプラスチックや有機無機複合材料を用いることもできる。

また、第2の素材が、遮光性を有するものであることが好ましい。

この構成をとる理由とその作用を説明する。第2の素材に遮光性があると、光学機能面以外の面からの光線が像面に到達するのを最小限にできる。よって、ゴースト光やフレア光を抑えることができるため、好ましい。

また、第2の素材が、金属、サーメット又はセラミックスであることが好ましい。

この構成をとる理由とその作用を説明する。第2の素材が金属、サーメット（セラミックスと金属の複合材料）、セラミックスであれば、形状の加工が容易となる。

また、光学系を構成する少なくとも1つの光学素子の光学材料として、有機無機複合材料を用いることが好ましい。

この構成をとる理由とその作用を説明する。光学素子の光学材料として有機無機複合材料を用いると、有機成分と無機成分の種類と存在量比率に応じて、種々の光学特性（屈折率、波長分散性）が発現するようになる（得られる）。このように、有機成分と無機成分を任意の比率で配合することで、所望の光学特性、あるいは高い光学特性を持つ光学材料を実現できる。これにより、性能の高い光学素子を得ることができるので、より少ない枚

数で諸収差を補正できる。よって、光学系を低成本・小型化できる。

また、有機無機複合体は、ジルコニアのナノ粒子を含むことが好ましい。

また、有機無機複合体は、ジルコニアとアルミナのナノ粒子を含むことが好ましい。

また、有機無機複合体は、ニオブ酸化物のナノ粒子を含むことが好ましい。

また、有機無機複合体は、ジルコニウムアルコキシドの加水分解物とアルミナのナノ粒子を含むことが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。これらの材料のナノ粒子は、無機成分の例示である。そして、このようなナノ粒子を有機成分のプラスチック中に所定の存在量比率で分散させることにより、種々の光学特性（屈折率、波長分散性）を発現させることができる。

次に、一体レンズの製造方法を、図1を用いて説明する。図1 (a)において、14は一体レンズ成形型の下押型、15は一体レンズ成形型の上押型である。下押型14の所定の領域には、一体レンズ下面型（以下、下面型とする。）が形成されている。この下面型は、成形後的一体レンズにおいて、光学機能面の部分に該当する。また、上押型15の所定の領域にも、一体レンズ上面型（以下、上面型とする。）が形成されている。この上面型も、成形後的一体レンズにおいて、光学機能面の部分に該当する。

一体レンズ10は、第1の素材11と第2の素材12とを用いて成形されている。第1の素材11には、一体レンズの成形後において、少なくとも光学機能面を含む面が形成される。また、第2の素材12には、一体レンズの成形後において、少なくとも光学機能面を含む面以外の面が形成される。この、光学機能面を含む面以外の面は、第1の素材11によって形成された面の外周部に形成された面である。この面は、例えば、鏡筒と接触して一体レンズを支持する面、あるいは心出する面である。

第2の素材12には、穴13が形成されている。よって、一体レンズ10の製造にあたっては、図1 (a)に示すように、第1の素材11は第2の素材12と共に、一体レンズ成形型の下押型14の上に載置される。このとき、第1の素材11は、穴13の中に嵌入された状態で配置されている。この状態において、第1の素材11が変形可能な温度まで加温される。この温度は、第1の素材11の転移点より高い適宜な温度である。次に、適宜な温度になったところで、一体レンズ成形型の上押型15が、上方から第2の素材12の面に接するまで降下する。これにより、下面型と上面型によって、第1の素材11が押圧される。その結果、第1の素材11は、下面型と上面型とに応じた形に成形され、全体

として図1 (b) に示すように、一体レンズ10が成形される。

この一体レンズ10は、図1 (b) の上押型15を除去した後で、下押型14内から容易に取り出すことができる。また、この一体レンズ10は、図2に斜視図を示すように、第1の素材11が第2の素材12の穴に融着して一体化している。なお、図1では、一対の押型14、15に、1セットの第1の素材11と第2の素材12を載置しているが、このような構成に限られない。別の例を次に示す。

図3は、別の例であって、一対の押型の下押型14、上押型15それぞれに、複数の面型を並列配置したものである。そして、それぞれに面型対応して、第1の素材11と第2の素材12を複数載置している。このようにして、同時に、複数の一体レンズを成形するものである。図3 (a) において、14は一体レンズ成形型の下押型、15は一体レンズ成形型の上押型である。下押型14の所定の領域には、一体レンズ下面型（以下、下面型とする。）が、複数形成されている。この下面型は、成形後の一體レンズにおいて、光学機能面の部分に該当する。また、上押型15の所定の領域にも、一体レンズ上面型（以下、上面型とする。）が、複数形成されている。この上面型も、成形後の一體レンズにおいて、光学機能面の部分に該当する。

図3 (a) に示すように、本例の一体レンズも、第1の素材11と第2の素材12とを用いて成形されている。第1の素材11は、一体レンズの成形後において、少なくとも光学機能面を含む面を形成する。また、第2の素材12は、一体レンズの成形後において、少なくとも光学機能面を含む面以外の面を形成する。この、光学機能面を含む面以外の面は、第1の素材11によって形成された面の外周部に形成された面である。この面は、例えば、鏡筒と接触して一体レンズを支持する面、あるいは心出しする面である。

第2の素材12には、穴13が複数形成されている。よって、本例では、一体レンズはアレイ状に形成される。そして、図4に示すアレイ状に形成された一体レンズ10'（以下、アレイ状レンズ10'とする。）を切断することで、図2に示す一体レンズ10が得られる。アレイ状レンズ10'の製造にあたっては、図3 (a) に示すように、複数の第1の素材11は、第2の素材12と共に、一体レンズ成形型の下押型14の上に載置される。このとき、第1の素材11の各々は、各穴13の中に嵌入された状態で配置されている。この状態において、第1の素材11が変形可能な温度まで加温される。この温度は、第1の素材11の転移点より高い適宜な温度である。次に、適宜な温度になったところで、一体レンズ成形型の上押型15が、上方から第2の素材12の面に接するまで降下する

。これにより、下面型と上面型によって、各々の第1の素材11が押圧される。その結果、第1の素材11は、下面型と上面型とに応じた形に成形され、全体として図3 (b) に示すように、アレイ状レンズ10'が成形される。

なお、この例においては、図3に示すように、上押型15に凸部形状16を設けておいて押圧することにより、第2素材12に凹形状部17を同時に加工するようにしている。アレイ状レンズ10'は、図3 (b) の上押型15を除去した後で、下押型14内から容易に取り出すことができる。また、このアレイ状レンズ10'は、図4に斜視図を示すように、各々の第1の素材11が、第2の素材12の各穴13に融着して一体化している。その後、第2の素材12を切断して、複数の一体レンズ10が得られる。なお、図3及び図4では3×3のレンズアレイとなっているが、個数はこの限りではない。

さらに、別の例を、図5及び図6に示す。本例では、図3、図4の例に比べて、上押型15に凸形状部16を設けていない点が異なるだけである。そのため、第2の素材12に、それに対応する凹形状部17を加工していない。

次に、上述の、各タイプの変倍光学系について説明する。

(1) 第1群が負レンズ群、第2群が正レンズ群。

第1の変倍光学系は、物体側から順に、負の屈折力を有する第1群と、正の屈折力を有する第2群とから構成されている。そして、少なくとも1枚のレンズが、成形後において少なくとも光学機能面を含む面となる第1の素材と、成形後において少なくとも光学機能面を含む面以外の面となる第2の素材とを用いて成形されている。すなわち、少なくとも1枚のレンズが、第1の素材と第2の素材とが一体化された一体レンズからなる。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。このような負・正の群配置の変倍光学系は、少ないレンズ枚数で光学系を構成できる。よって、小型化・低コスト化に向いているものである。そして、一体レンズを用いることで、光学系をさらに小型化できる。これは、一体レンズでは、従来の加工法と比べると、心取り時の外周分厚さを確保する必要がなくなるからである。この点について、説明する。

従来の加工法では、心取りを行うことを前提としていた。そのため、心取りを行う前のレンズの外周部には、ある程度の厚み(コバ厚)が必要であった。よって、従来のレンズは、中心肉厚(中心部の厚み)の厚いレンズになっていた。これに対して、第1の変倍光学系に用いられる一体レンズは、コバ厚の薄いレンズである。そのため、光学系の全長を

短縮することができる。また、従来の加工法では、正レンズのパワーを大きくすればする程、必要外径での外周部厚さはさらに厚くなっていた。これに対して、第1の変倍光学系では、心取り時の外周分厚さを確保する必要がない。よって、正レンズのパワーが大きくなければなる程、小型化の効果は大きくなると言える。

また、このような一体レンズは、取り扱いが容易なので、変倍光学系の製造にかかるコストを削減することができる。

ここで、第1の変倍光学系においては、広角端から望遠端への変倍は、例えば、次のようにして行われる。すなわち、第1群は、物体側に凹形状の軌跡を描くように移動する。また、第2群は、物体側に移動する。

また、第1の変倍光学系において、一体レンズが、他のレンズと接合されていることが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。このように、一体レンズと他のレンズを接合することにより、個々のレンズを独立に組むよりも偏心感度（偏心誤差）を小さくできる。よって、光学系の組み立てが容易になり、低コスト化につながる。

また、第1の変倍光学系において、一体レンズの少なくとも1つの光学機能面が、非球面であることが好ましい。すなわち、一体レンズが、非球面一体レンズであることが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。このような非球面を用いることで、諸収差を抑えることができる。その結果、全系のレンズ枚数を削減することができる。また、光学系の低コスト化、及び小型化ができる。

また、第1の変倍光学系において、第1群が、少なくとも1枚の正レンズを有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第1群は負のパワーを持つため、少なくとも1枚の負レンズを有している。そこで、この第1群に正レンズを含むことによって、変倍に伴う球面収差やコマ収差・倍率色収差等の諸収差の変動を抑制することができる。

また、第1の変倍光学系において、第1群の最も物体側に、負レンズを有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。このようにすると、第1群のレンズ有効径や、レンズ全長を短縮することができる。

また、第1の変倍光学系において、第1群が、少なくとも1枚の一体レンズを有すること

とが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第1群のレンズは有効径が大きいため、必要とする体積も大きくなる。そこで、第1群のレンズに一体レンズを用いることで、光学材料の体積を小さくすることができる。その結果、コストを削減することができる。

また、レンズ自体の体積も小さくなるので、光学系を小型化できる。また、一体レンズは取り扱いが容易なので、光学系の製造にかかるコストを削減できる。

また、第1の変倍光学系において、第1群の一体レンズの少なくとも1枚が、正の屈折力を有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。倍率色収差等の補正のためには、第1群に正レンズを配置するのが好ましい。そこで、この正レンズを一体レンズとすることで、正レンズのコバ厚を薄くでき、全長を短縮することができる。

また、第1群の正レンズには、倍率色収差や望遠端での球面収差等の補正のために、高屈折率高分散の光学材料を用いるのが好ましい。ただし、一般に、高屈折率高分散の光学材料はコストがかかる。しかも、それだけでなく、第1群の正レンズは有効径が大きいために、必要とする体積も大きくなる。そこで、この正レンズを一体レンズとすることで、正レンズに必要な光学材料の体積を小さくできる。よって、コストを削減できる。また、レンズ自体の体積も小さくなるので、光学系を小型化できる。

また、第1の変倍光学系において、第1群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH1 / \phi 1 < 1.0 \quad \dots (2A)$$

ただし、HH1は第1群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 1$ は第1群正レンズの屈折力である。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第1群に負レンズを配置する（最も物体側に）と、倍率色収差が発生する。この倍率色収差等を少ないレンズ枚数、すなわち低コストで補正するためには、第1群に大きなパワーの正レンズを有するのが好ましい。

ところが、従来の加工法では、レンズを必要外径よりもやや大きく成形し、心取り（外径丸め）を行ってレンズ鏡枠に組み込む。そのため、正レンズを成形するにあたって、必要外径での外周部厚さは、心取り時の外周部厚さよりも厚くなってしまう。さらに、正レンズのパワーを大きくすると、心取り時の外周部厚さを確保する必要性から、必要外径での外周部厚さはさらに厚くなってしまう。その結果、レンズ全長の短縮と各レンズの小型

化の両立、あるいは低コストと小型化との両立が難しくなる。

しかし、第1群の正レンズを一体に成形することで、必要外径より大きく成形する必要がなくなる。また、条件式を満たすことで、大きなパワーを、薄いレンズで実現できる。そのため、低コスト化と小型化とを同時に達成することができる。

条件式(2A)の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎる。そのため、偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。また、上限の1.0を越えると、主点間隔に比してパワーが小さい。そのため、第1群の負レンズで発生した倍率色収差等を補正しきれなくなってしまう。あるいは、倍率色収差等を補正するために、レンズ枚数が多くなってしまう。

さらに、以下の条件式(2A-2)を満たすのが好ましい。この場合、低コストのまま、光学系を小型にできる。

$$0.5 < HH1 / \phi 1 < 6 \quad \dots \quad (2A-2)$$

さらに、以下の条件式(2A-3)を満たすのがより好ましい。この場合、低コストのまま、光学系をより小型にできる。

$$1 < HH1 / \phi 1 < 3 \quad \dots \quad (2A-3)$$

また、第1の変倍光学系において、第1群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第1の変倍光学系の広角端では、第1群での光線高が高い。そこで、第1群に少なくとも1面の非球面を含むようにする。このようにすることで、非点収差や歪曲収差、コマ収差等の軸外収差を、より少ないレンズ枚数で良好に補正することができる。よって、光学系の小型化・低コスト化が実現できる。

また、望遠端では、第1群での光束径は大きい。そこで、第1群に少なくとも1面の非球面を含むことで、球面収差やコマ収差等を、より少ないレンズ枚数で良好に補正することができる。この場合も、光学系の小型化、低コスト化が実現できる。

また、第1の変倍光学系において、第2群が、少なくとも1枚の負レンズを有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第2群は正のパワーであるため、少なくとも1枚の正レンズを有している。そこで、負レンズを含むことによって、変倍に伴うコマ収差や非点収差・軸上色収差等の諸収差の変動を抑制できる。

また、第1の変倍光学系において、第2群の最も物体側に、正レンズを有することが好

ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第2群では、負パワーの第1群で発散した光を収束する必要がある。そこで、最も物体側のレンズは、正レンズであることが好ましい。

また、第1の変倍光学系において、第2群の最も像側に、負レンズを有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第2群の最も像側を負レンズとすることで、以下のような効果が得られる。（1）主点位置が第1群側に移動することから、第1群と第2群の主点間隔が短縮できる。その結果、レンズ全長の短縮ができる。（2）第2群の倍率を大きくできるので、変倍に伴う第2群の移動量を小さくできる。その結果、全長の短縮ができる。

また、第1の変倍光学系において、第2群が少なくとも1枚の一体レンズを有し、一体レンズの少なくとも1枚が正の屈折力を有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。正レンズを一体レンズとして、正レンズのコバ厚を薄くできる。その結果、全長を短縮することができる。

また、第2群の正レンズには、軸上色収差・球面収差・非点収差等の抑制のために、高屈折率低分散の光学材料を使うのが好ましい。ところが、一般に高屈折率低分散の光学材料はコストがかかる。そこで、この正レンズを一体レンズとして、正レンズに必要な光学材料の体積を小さくすることができる。よって、コストを削減できるので、好ましい。

また、レンズ自体の体積も小さくなるので、光学系を小型化できる。また、その一体レンズは取り扱いが容易なので、変倍光学系の製造にかかるコストを削減することができる。

また、第1の変倍光学系において、第2群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH2 / \phi 2 < 1.0 \quad \dots (3A)$$

ただし、HH2は第2群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 2$ は第2群正レンズの屈折力である。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第2群に配置された正レンズのパワーを大きくすることで、第2群の移動距離を短縮できる。これは、レンズ全長の短縮につながる

。ところが、従来の加工法では、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立は難しくなる。（従来の加工法の詳細な説明は、条件（2A）で説明した通りである。）

しかし、この正レンズを一体に成形することで、必要外径より大きく成形する必要がなくなる。また、条件式を満たすことで、大きなパワーを、薄いレンズで実現できる。そのため、より一層の小型化を実現できる。

条件式（3A）の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎる。そのため、偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。また、上限の1.0を越えると、主点間隔に比してパワーが小さい。そのため、第2群の移動量が短縮できなくなる。その結果、レンズ全長が大きくなる。

さらに、以下の条件式（3A-2）を満たすのが好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が達成できる。

$$0.5 < HH_2 / \phi_2 < 2 \quad \dots \quad (3A-2)$$

さらに、以下の条件式（3A-3）を満たすのがより好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が、より達成しやすくなる。

$$1 < HH_2 / \phi_2 < 1.5 \quad \dots \quad (3A-3)$$

また、第1の変倍光学系において、第2群の少なくとも1枚の一体レンズが、他のレンズと接合されていることが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第2群に接合レンズを含むことで、偏心感度を小さくできる。そのため、光学系の組み立てが容易になり、低コスト化につながる。

また、第1の変倍光学系において、第2群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第1群は負の屈折力を有している。この場合、第1群により光束径が広げられるため、径の大きな光束が第2群に入射する。このように、第2群での光束径は大きいので、第2群に少なくとも1面の非球面を含むことで、良好な収差補正を行うことができる。また、レンズ径を小型化するためには各群のパワーを増す必要がある。ところが、第2群の正パワーを増すと、変倍に伴う第2群の横倍率や収差の変化が大きくなる。そこで、第2群が非球面を含むことで、第2群で発生する収差を補正し、変倍に伴う収差変動を抑制することができる。

（2）第1群が正レンズ群、第2群が負レンズ群。

第2の変倍光学系は、物体側から順に、正の屈折力を有する第1群と、負の屈折力を有する第2群とから構成されている。そして、少なくとも1枚のレンズが、成形後において少なくとも光学機能面を含む面となる第1の素材と、成形後において少なくとも光学機能面を含む面以外の面となる第2の素材とを用いて成形されている。すなわち、少なくとも1枚のレンズが、第1の素材と第2の素材とが一体化された一体レンズからなる。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。このような正・負の群配置の変倍光学系は、負・正の群配置の変倍光学系と同様に、少ないレンズ枚数で光学系を構成できる。よって、小型化・低コスト化に向いているものである。そして、一体レンズを用いることで、光学系をさらに小型化できる。これは、一体レンズでは、従来の加工法と比べると、心取り時の外周分厚さを確保する必要がなくなるからである。従来の加工法については、第1の変倍光学系での説明と同じである。

また、このような一体レンズは、取り扱いが容易なので、変倍光学系の製造にかかるコストを削減することができる。

ここで、第2の変倍光学系においては、広角端から望遠端への変倍は、例えば、次のようにして行われる。すなわち、第1群と第2群を、物体側へ移動させる。その際、第1群と第2群の間隔を狭めながら移動させる。

また、第2の変倍光学系において、一体レンズが、他のレンズと接合されていることが望ましい。また、第2の変倍光学系において、一体レンズの少なくとも1つの光学機能面が、非球面であることが好ましい。すなわち、一体レンズが、非球面一体レンズであることが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

また、第2の変倍光学系において、第1群が、少なくとも1枚の負レンズを有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第1群は正のパワーを持つため、少なくとも1枚の正レンズを有している。そこで、この第1群に負レンズを含むことによって、変倍に伴う非点収差や倍率色収差等の諸収差の変動を抑制することができる。

また、第2の変倍光学系において、第1群の最も像側に、正レンズを有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第1群の最も像側に正レンズを有することによって、第1群の後側主点と第2群の前側主点との間隔を小さくできる。その結果、小

型化が達成できる。

また、第2の変倍光学系において、第1群が、少なくとも1枚の一体レンズを有し、一体レンズが正レンズであることが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。また、正レンズを一体レンズとすることで、正レンズのコバ厚を薄くできる。よって、全長を短縮することができる。

また、第2の変倍光学系において、第1群の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH1 / \phi 1 < 1.5 \quad \dots \quad (2B)$$

ただし、HH1は第1群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 1$ は第1群正レンズの屈折力である。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。光学系を望遠型としてレンズ全長を短縮するには、第1群の正レンズが大きなパワーを有するのが好ましい。ところが、従来の加工法では、低コストと小型化との両立が難しくなる。(従来の加工法の詳細な説明は、第1の変倍光学系で述べた通りである。)

しかし、第1群の正レンズを一体に成形することで、必要外径より大きく成形する必要がなくなる。また、条件式(2B)を満たすことで、大きなパワーを、薄いレンズで実現できる。そのため、低コスト化と小型化とを同時に達成することができる。

条件式(2B)の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎる。そのために偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。また、その上限の1.5を越えると、主点間隔に比してパワーが小さいので、望遠型の効果が弱くなる。よって、レンズ全長が長くなってしまう。あるいは、望遠型とするために、レンズ枚数が多くなってしまう。

さらに、以下の条件式(2B-2)を満たすのが好ましい。この場合、レンズ全長の短縮化と各レンズの小型化とを、同時に達成することができる。

$$0.5 < HH1 / \phi 1 < 6 \quad \dots \quad (2B-2)$$

さらに、以下の条件式(2B-3)を満たすのがより好ましい。この場合、レンズ全長の短縮化と各レンズの小型化とを、同時に達成することができる。

$$1 < HH1 / \phi 1 < 2 \quad \dots \quad (2B-3)$$

また、第2の変倍光学系において、第1群の少なくとも1枚の一体レンズが、他のレン

ズと接合されていることが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第1群にこのような接合レンズを含むことで、偏心感度を小さくできる。そのため、光学系の組み立てが容易になり、低コスト化につながる。

また、第2の変倍光学系において、第1群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。正・負の群配置の変倍光学系では、第1群での光束径は大きい。そこで、第1群に少なくとも1面の非球面を含むことで、球面収差やコマ収差等の良好な収差補正を行うことができる。

また、第2の変倍光学系において、第2群が、少なくとも1枚の正レンズを有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。正・負の群配置の変倍光学系の広角端では、第2群での光線高が高い。そこで、第2群に少なくとも1枚の正レンズを含むことで、変倍に伴う非点収差や倍率色収差等の諸収差の変動を抑制できる。

また、望遠端では、第2群での光束径が大きい。そこで、第2群に少なくとも1枚の正レンズを含むことで、変倍に伴う球面収差やコマ収差等の諸収差の変動を抑制できる。

また、第2の変倍光学系において、第2群の最も像側に、負レンズを有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第2群の最も像側を負レンズとすることで、以下のような効果が得られる。（1）主点位置が第1群側に移動することから、第1群と第2群の主点間隔が短縮できる。その結果、レンズ全長の短縮ができる。（2）第2群の倍率を大きくできるので、変倍に伴う第2群の移動量を小さくできる。その結果、全長の短縮ができる。

また、第2の変倍光学系において、第2群が、少なくとも1枚の一体レンズを有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第2群のレンズは有効径が大きいため、必要とする体積も大きくなる。そこで、第2群のレンズに一体レンズを用いることで、光学材料の体積を小さくすることができる。その結果、コストを削減することができる。

また、レンズ自体の体積も小さくなるので、光学系を小型化できる。また、一体レンズは取り扱いが容易なので、光学系の製造にかかるコストを削減できる。

また、第2の変倍光学系において、第2群の一体レンズの少なくとも1枚が、正レンズであることが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。正レンズを一体レンズとして、正レンズのコバ厚を薄くできる。その結果、全長を短縮することができる。

また、第2群の正レンズには、倍率色収差・球面収差等の抑制のために、高屈折率低分散の光学材料を使うのが好ましい。ところが、一般に高屈折率低分散の光学材料はコストがかかる。しかも、第2群の正レンズは有効性が大きいため、必要とする体積も大きくなる。そこで、この正レンズを一体レンズとして、正レンズに必要な光学材料の体積を小さくすることができる。よって、コストを削減できる。

また、レンズ自体の体積も小さくなるので、光学系を小型化できる。また、その一体レンズは取り扱いが容易なので、変倍光学系の製造にかかるコストを削減することができる。

また、第2の変倍光学系において、第2群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH_2 / \phi_2 < 6 \quad \dots (3B)$$

ただし、 HH_2 は第2群正レンズの主点間隔(mm)、 ϕ_2 は第2群正レンズの屈折力である。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第2群に配置された正レンズのパワーを大きくすることで望遠型となり、レンズ全長の短縮につながる。広角端では、変倍に伴う非点収差や倍率色収差の変動を良好に少ない枚数で抑制できる。また、望遠端では、変倍に伴う球面収差やコマ収差等の諸収差の変動を良好に、しかも少ない枚数で抑制できる。このように、上記構成では少ない枚数でレンズ系を構成できるため、小型化及び低コスト化ができる。ところが、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立は難しくなる。(従来の加工法の詳細な説明は、第1の変倍光学系で述べた通りである。)

しかし、この正レンズを一体に成形することで、必要外径より大きく成形する必要がなくなる。また、条件式(3B)を満たすことで、大きなパワーを、薄いレンズで実現できる。そのため、より一層の小型化を実現できる。

条件式(3B)の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎる。そのために偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。上限の6を越えると、主点間隔に比してパワーが小さい。そのため、1枚の正レンズでは上記諸収差の変動を抑制する

のが困難になる。良好な性能を得るには複数枚のレンズが必要となるため、好ましくない。

さらに、以下の条件式（3B-2）を満たすのが好ましい。この場合、少ない枚数で良好な性能を得ることができる。

$$0.5 < HH_2 / \phi_2 < 3 \quad \dots \quad (3B-2)$$

さらに、以下の条件式（3B-3）を満たすのがより好ましい。この場合、少ない枚数で良好な性能を得ることがより可能になる。

$$1 < HH_2 / \phi_2 < 1.5 \quad \dots \quad (3B-3)$$

また、第2の変倍光学系において、第2群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第2群では光線高が高い。そこで、第2群に少なくとも1面の非球面を含むことで、非点収差やコマ収差等の軸外収差を効果的に補正することができる。

（3）第1群が負レンズ群、第2群が正レンズ群、第3群が正レンズ群。

第3の変倍光学系は、物体側から順に、負の屈折力を有する第1群と、正の屈折力を有する第2群と、正の屈折力を有する第3群とから構成されている。そして、少なくとも1枚のレンズが、成形後において少なくとも光学機能面を含む面となる第1の素材と、成形後において少なくとも光学機能面を含む面以外の面となる第2の素材とを用いて成形されている。すなわち、少なくとも1枚のレンズが、第1の素材と第2の素材とが一体化された一体レンズからなる。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。負の屈折力レンズ群・正の屈折力のレンズ群・正の屈折力のレンズ群の順で構成された変倍光学系は、少ないレンズ枚数で構成でき、小型化・低コスト化に向いているものである。そして、一体レンズを用いることで、光学系をさらに小型化できる。これは、一体レンズでは、従来の加工法と比べると、心取り時の外周分厚さを確保する必要がなくなるからである。従来の加工法については、第1の変倍光学系での説明と同じである。

また、このような一体レンズは、取り扱いが容易なので、変倍光学系の製造にかかるコストを削減することができる。

ここで、第3変倍光学系においては、広角端から望遠端への変倍は、例えば、少なくと

も、次のようにして行われる。すなわち、第1群は、物体側に凹形状の軌跡を描くように移動する。また、第2群は、物体側に移動する。なお、第3群も移動させながら変倍を行うようにしてもよい。

また、第3の変倍光学系において、一体レンズが、他のレンズと接合されていることが好ましい。

また、第3の変倍光学系において、一体レンズの少なくとも1つの光学機能面が、非球面である非球面一体レンズであることが好ましい。

また、第3の変倍光学系において、第1群が、少なくとも1枚の正レンズを有することが好ましい。

また、第3の変倍光学系において、第1群の最も物体側に、負レンズを有することが好ましい。

また、第3の変倍光学系において、第1群が、少なくとも1枚の一体レンズを有することが好ましい。

また、第3の変倍光学系において、第1群が、少なくとも1枚が、正の屈折力を有することが好ましい。

これら上記の構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

また、第3の変倍光学系において、第1群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH1 / \phi_1 < 1.5 \quad \dots (2C)$$

ただし、HH1は第1群正レンズの主点間隔(■)、 ϕ_1 は第1群正レンズの屈折力である。

上記の構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

条件式(2C)の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎる。そのため、偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。また、上限の1.5を越えると、主点間隔に比してパワーが小さい。そのため、第1群の負レンズで発生した倍率色収差等を補正しきれなくなってしまう。あるいは、倍率色収差等を補正するために、レンズ枚数が多くなってしまう。

さらに、以下の条件式(2C-2)を満たすのが好ましい。この場合、低成本のまま、光学系を小型にできる。

$$0.5 < HH1 / \phi_1 < 7 \quad \dots (2C-2)$$

さらに、以下の条件式（2C-3）を満たすのがより好ましい。この場合、低コストのまま、光学系をより小型にできる。

$$1 < HH1 / \phi 1 < 4 \quad \dots \quad (2C-3)$$

また、第3の変倍光学系において、第1群の少なくとも1枚の一体レンズが、他のレンズと接合されていることが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第1群にこのような接合レンズを含むことで、偏心感度を小さくできる。そのため、光学系の組み立てが容易になり、低コスト化につながる。

また、第3の変倍光学系において、第1群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

また、第3の変倍光学系において、第2群が、少なくとも1枚の負レンズを有することが好ましい。

また、第3の変倍光学系において、第2群の最も物体側に、正レンズを有することが好ましい。

また、第3の変倍光学系において、第2群の最も像側に、負レンズを有することが好ましい。

また、第3の変倍光学系において、第2群が少なくとも1枚の一体レンズを有し、一体レンズの少なくとも1枚が、正の屈折力を有することが好ましい。

これら上記の構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

また、第3の変倍光学系において、第2群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH2 / \phi 2 < 1.0 \quad \dots \quad (3C)$$

ただし、HH2は第2群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 2$ は第2群正レンズの屈折力である。

。

上記の構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

条件式（3C）の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎる。そのため、偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。また、上限の1.0を越えると、主点間隔に比してパワーが小さい。そのため、第2群の移動量が短縮できなくなる。その結果、レンズ全長が大きくなる。

さらに、以下の条件式（3C-2）を満たすのが好ましい。この場合、レンズ全長の短

縮と各レンズの小型化の両立が達成できる。

$$0.5 < HH2 / \phi 2 < 2 \quad \dots (3C-2)$$

さらに、以下の条件式(3C-3)を満たすのがより好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が、より達成しやすくなる。

$$1 < HH2 / \phi 2 < 1.5 \quad \dots (3C-3)$$

また、第3の変倍光学系において、第2群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第1群に入射した光束は、負の屈折力を有する第1群により、光束径が広げられる。そのため、第2群での光束径は大きくなる。そこで、第2群に少なくとも1面の非球面を含むことで、変倍に伴う球面収差やコマ収差等の諸収差の変動を、より少ないレンズ枚数で良好に補正することができる。よって、光学系の小型化・低コスト化が実現できる。

また、第3の変倍光学系において、第3群が、少なくとも1枚の一体レンズを有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第3群のレンズは有効径が大きいために、レンズに必要な光学材料の体積も大きくなる。そこで、第3群のレンズに一体レンズを用いることで、その光学材料の体積が小さくなる。よって、コストを削減できる。また、一体レンズは取り扱いが容易なので、変倍光学系の製造にかかるコストを削減することができる。

また、第3の変倍光学系において、第3群の一体レンズの少なくとも1枚が、正の屈折力を有する正レンズであることが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。正レンズを一体レンズとして、正レンズのコバ厚を薄くでき、全長を短縮できる。また、第3群の正レンズは有効径が大きいため、レンズに必要な光学材料の体積も大きくなる。そこで、この正レンズを一体レンズとして、その光学材料の体積が小さくなる。よって、コストを削減できる。

また、第3の変倍光学系において、第3群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH3 / \phi 3 < 2.0 \quad \dots (4C)$$

ただし、HH3は第3群正レンズの主点間隔(ミリ)、 $\phi 3$ は第3群正レンズの屈折力である。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第3群の正レンズのパワーを大きくすることは、第3群全体のパワーを大きくすることにつながる。第3群の正レンズのパワーを大きくすることで、次のような効果が得られる。(1) 広角端での射出瞳位置を像面から遠ざけることができるので、像側テレセントリック性の確保が容易になる。(2) 第3群を合焦時に光軸方向に沿って移動する場合、移動範囲を小さくできる。この場合、第2群との間隔は小さくてよいので、全長を削減できる。ところが、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立は難しくなる。(従来の加工法の詳細な説明は、第1の変倍光学系で述べた通りである。)

しかし、この正レンズを一体に成形にすれば、必要外径より大きく成形する必要がなくなる。また、条件式を満たすことで、大きなパワーを、薄いレンズで実現できる。そのため、より一層の小型化を実現できる。

条件式(4C)の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎるために偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。上限の2.0を越えると、主点間隔に比してパワーが小さいので、広角端での射出瞳位置が像面に近づいてしまう。その結果、像側テレセントリック性を確保できなくなるので、好ましくない。

さらに、以下の条件式(4C-2)を満たすのが好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が達成できる。

$$0.5 < HH3 / \phi 3 < 8 \quad \dots \quad (4C-2)$$

さらに、以下の条件式(4C-3)を満たすのがより好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が、より達成しやすくなる。

$$1 < HH3 / \phi 3 < 5 \quad \dots \quad (4C-3)$$

また、第3の変倍光学系において、第3群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第3の変倍光学系は、望遠端では第3群での光線高が高い。そこで、第3群に少なくとも1面の非球面を含むようにする。このようにすることで、非点収差や歪曲収差、コマ収差等の軸外収差を、より少ない枚数で良好に補正することができる。よって、光学系の小型化・低コスト化が実現できる。

(4) 第1群が負レンズ群、第2群が正レンズ群、第3群が正レンズ群、第4群が負レンズ群。

第4の変倍光学系は、物体側から順に、負の屈折力を有する第1群と、正の屈折力を有する第2群と、正の屈折力を有する第3群と、負の屈折力を有する第4群とから構成されている。そして、少なくとも1枚のレンズが、成形後において少なくとも光学機能面を含む面となる第1の素材と、成形後において少なくとも光学機能面を含む面以外の面となる第2の素材とを用いて成形されている。すなわち、少なくとも1枚のレンズが、第1の素材と第2の素材とが一体化された一体レンズからなる。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。負の屈折力レンズ群・正の屈折力のレンズ群・正の屈折力のレンズ群・負の屈折力のレンズ群の順で構成された変倍光学系は、少ないレンズ枚数で構成でき、小型化・低コスト化に向いている。そして、一体レンズを用いることで、光学系をさらに小型化できる。これは、一体レンズでは、従来の加工法と比べると、心取り時の外周分厚さを確保する必要がなくなるからである。従来の加工法については、第1の変倍光学系での説明と同じである。

また、このような一体レンズは、取り扱いが容易なので、変倍光学系の製造にかかるコストを削減することができる。

ここで、第4変倍光学系においては、広角端から望遠端への変倍は、例えば、少なくとも、次のようにして行われる。すなわち、変倍に際して、第1群と第2群の間隔が変化する。加えて、第2群と第3群の間の間隔が変化する。なお、他の群間隔、及び第4群と像面の間の間隔を変化させながら変倍を行うようにしてもよい。また、第3群を合焦のために移動するレンズ群としてもよい。

また、第4の変倍光学系において、一体レンズが、他のレンズと接合されていることが好ましい。また、第4の変倍光学系において、一体レンズの少なくとも1つの光学機能面が、非球面である非球面一体レンズであることが好ましい。

また、第4の変倍光学系において、第1群が、少なくとも1枚の正レンズを有することが好ましい。

また、第4の変倍光学系において、第1群の最も物体側に、負レンズを有することが好ましい。

また、第4の変倍光学系において、第1群が、少なくとも1枚の一体レンズを有することが好ましい。

また、第4の変倍光学系において、第1群の一体レンズの少なくとも1枚が、正の屈折力を有することが好ましい。

これら上記の構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。また、第4の変倍光学系において、第1群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH1 / \phi 1 < 1.0 \quad \dots (2D)$$

ただし、HH1は第1群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 1$ は第1群正レンズの屈折力である。

上記の構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

条件式(2D)の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎる。そのため、偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。また、上限の1.0を越えると、主点間隔に比してパワーが小さい。そのため、第1群の負レンズで発生した倍率色収差等を補正しきれなくなってしまう。あるいは、倍率色収差等を補正するために、レンズ枚数が多くなってしまう。

さらに、以下の条件式(2D-2)を満たすのが好ましい。この場合、低コストのまま、光学系を小型にできる。

$$0.5 < HH1 / \phi 1 < 5 \quad \dots (2D-2)$$

さらに、以下の条件式(2D-3)を満たすのがより好ましい。この場合、低コストのまま、光学系をより小型にできる。

$$1 < HH1 / \phi 1 < 2.5 \quad \dots (2D-3)$$

また、第4の変倍光学系において、第1群の少なくとも1枚の一体レンズが、他のレンズと接合されていることが好ましい。

上記の構成をとる理由とその作用は、第3の変倍光学系での説明と同じである。

また、第4の変倍光学系において、第1群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

また、第4の変倍光学系において、第2群が、少なくとも1枚の負レンズを有することが好ましい。

また、第4の変倍光学系において、第2群の最も物体側に、正レンズを有することが好ましい。

また、第4の変倍光学系において、第2群の最も像側に、負レンズを有することが好ましい。

また、第4の変倍光学系において、第2群が少なくとも1枚の一体レンズを有し、一体

レンズの少なくとも1枚が正の屈折力を有することが好ましい。

これら上記の構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

また、第4の変倍光学系において、第2群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH_2 / \phi_2 < 1.0 \quad \dots (3D)$$

ただし、 HH_2 は第2群正レンズの主点間隔(ミリ)、 ϕ_2 は第2群正レンズの屈折力である。

上記の構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

条件式(3D)の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎる。そのため、偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。また、上限の1.0を越えると、主点間隔に比してパワーが小さい。そのため、第2群の移動量が短縮できなくなる。その結果、レンズ全長が大きくなる。

さらに、以下の条件式(3D-2)を満たすのが好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が達成できる。

$$0.5 < HH_2 / \phi_2 < 5 \quad \dots (3D-2)$$

さらに、以下の条件式(3D-3)を満たすのがより好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が、より達成しやすくなる。

$$1 < HH_2 / \phi_2 < 2.5 \quad \dots (3D-3)$$

また、第4の変倍光学系において、第2群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

また、第4の変倍光学系において、第3群が、少なくとも1枚の一体レンズを有することが好ましい。

また、第4の変倍光学系において、第3群の一体レンズの少なくとも1枚が、正の屈折力を有する正レンズであることをが好ましい。

これら上記の構成をとる理由とその作用は、第3の変倍光学系での説明と同じである。

また、第4の変倍光学系において、第3群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH_3 / \phi_3 < 2.0 \quad \dots (4D)$$

ただし、 HH_3 は第3群正レンズの主点間隔(ミリ)、 ϕ_3 は第3群正レンズの屈折力である。

上記の構成をとる理由とその作用は、第3の変倍光学系での説明と同じである。

条件式(4D)の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎるために偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。上限の2.0を越えると、主点間隔に比してパワーが小さいので、広角端での射出瞳位置が像面に近づいてしまう。その結果、像側テレセントリック性を確保できなくなるので、好ましくない。

さらに、以下の条件式(4D-2)を満たすのが好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が達成できる。

$$0.5 < HH_3 / \phi_3 < 9 \quad \dots (4D-2)$$

さらに、以下の条件式(4D-3)を満たすのがより好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が、より達成しやすくなる。

$$1 < HH_3 / \phi_3 < 4 \quad \dots (4D-3)$$

また、第4の変倍光学系において、第3群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第4の変倍光学系は、広角端では第3群での光束径は大きい。そこで、第3群に少なくとも1面の非球面を含むようにする。このようにすることで、変倍に伴う球面収差やコマ収差等の諸収差の変動を、より少ない枚数で良好に補正することができる。よって、光学系の小型化・低コスト化が実現できる。

また、第4の変倍光学系において、4群に一体レンズを用いる(第4群が、少なくとも1枚の一体レンズを有する)ことが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第4群のレンズは有効径が大きいために、レンズに必要な光学材料の体積も大きくなる。そこで、第4群のレンズに一体レンズを用いることで、その光学材料の体積が小さくなる。よって、コストを削減できる。また、一体レンズは取り扱いが容易なので、変倍光学系の製造にかかるコストを削減することができる。

また、第4の変倍光学系において、第4群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第4群では光線高が高い。そこで、第4群に少なくとも1面の非球面を含むことで、歪曲収差や非点収差等の軸外収差を、より少ない枚数で良好に補正できる。よって、光学系の小型化・低コスト化ができる。

(5) 第1群が負レンズ群、第2群が正レンズ群、第3群が負レンズ群、第4群が正レンズ群。

第5の変倍光学系は、物体側から順に、負の屈折力を有する第1群と、正の屈折力を有する第2群と、負の屈折力を有する第3群と、正の屈折力を有する第4群とから構成されている。そして、少なくとも1枚のレンズが、成形後において少なくとも光学機能面を含む面となる第1の素材と、成形後において少なくとも光学機能面を含む面以外の面となる第2の素材とを用いて成形されている。すなわち、少なくとも1枚のレンズが、第1の素材と第2の素材とが一体化された一体レンズからなる。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。負の屈折力レンズ群・正の屈折力のレンズ群・負の屈折力のレンズ群・正の屈折力のレンズ群の順で構成された変倍光学系は、全長固定を少ない枚数で実現できる。よって、このような変倍光学系は、小型化・低コスト化に向いている。そして、一体レンズを用いることで、光学系をさらに小型化できる。これは、一体レンズでは、従来の加工法と比べると、心取り時の外周分厚さを確保する必要がなくなるからである。従来の加工法については、第1の変倍光学系での説明と同じである。

また、このような一体レンズは、取り扱いが容易なので、変倍光学系の製造にかかるコストを削減することができる。

ここで、第5変倍光学系においては、広角端から望遠端への変倍は、例えば、次のようにして行われる。すなわち、第2群と第3群を物体側へ移動させる。その際、第2群と第3群を、独立に移動させる。もちろん、第1群、又は第1群も移動させながら変倍を行うようにしてもよい。

また、第5の変倍光学系において、一体レンズが、他のレンズと接合されていることが好ましい。また、第5の変倍光学系において、一体レンズの少なくとも1つの光学機能面が、非球面である非球面一体レンズであることが好ましい。

また、第5の変倍光学系において、第1群が、少なくとも1枚の正レンズを有することが好ましい。

また、第5の変倍光学系において、第1群の最も物体側に、負レンズを有することが好ましい。

また、第5の変倍光学系において、第1群が、少なくとも1枚の一体レンズを有することが好ましい。

また、第5の変倍光学系において、第1群の一体レンズの少なくとも1枚が、正の屈折力を有することが好ましい。

これら上記の構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

また、第5の変倍光学系において、第1群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH1 / \phi 1 < 1.0 \quad \dots (2E)$$

ただし、HH1は第1群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 1$ は第1群正レンズの屈折力である。

。

上記の構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

条件式(2E)の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎる。そのため、偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。また、上限の1.0を越えると、主点間隔に比してパワーが小さい。そのため、第1群の負レンズで発生した倍率色収差等を補正しきれなくなってしまう。あるいは、倍率色収差等を補正するために、レンズ枚数が多くなってしまう。

さらに、以下の条件式(2E-2)を満たすのが好ましい。この場合、低成本のまま、光学系を小型にできる。

$$0.5 < HH1 / \phi 1 < 6 \quad \dots (2E-2)$$

さらに、以下の条件式(2E-3)を満たすのがより好ましい。この場合、低成本のまま、光学系をより小型にできる。

$$1 < HH1 / \phi 1 < 4 \quad \dots (2E-3)$$

また、第5の変倍光学系において、第1群の少なくとも1枚の一体レンズが、他のレンズと接合されていることが好ましい。

上記の構成をとる理由とその作用は、第3の変倍光学系での説明と同じである。

また、第5の変倍光学系において、第1群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

上記の構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

また、第5の変倍光学系において、第2群が、少なくとも1枚の負レンズを有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第2群は正のパワーであるため、少なくとも1枚の正レンズを有している。そこで、負レンズを含むことによって、変倍に伴う倍率

色収差等の諸収差の変動を抑制できる。

また、第5の変倍光学系において、第2群の最も物体側に、正レンズを有することが好ましい。

また、第5の変倍光学系において、第2群の最も像側に、負レンズを有することが好ましい。

また、第5の変倍光学系において、第2群が少なくとも1枚の一体レンズを有し、一体レンズの少なくとも1枚が正の屈折力を有することが好ましい。

これら上記の構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

また、第5の変倍光学系において、第2群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH_2 / \phi_2 < 6 \quad \dots (3E)$$

ただし、HH₂は第2群正レンズの主点間隔(mm)、 ϕ_2 は第2群正レンズの屈折力である。

上記の構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

条件式(3E)の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎる。そのため、偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。また、上限の6を越えると、主点間隔に比してパワーが小さい。そのため、第2群の移動量が短縮できなくなる。その結果、レンズ全長が大きくなる。さらに、以下の条件式(3E-2)を満たすのが好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が達成できる。

$$0.5 < HH_2 / \phi_2 < 3 \quad \dots (3E-2)$$

さらに、以下の条件式(3E-3)を満たすのがより好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が、より達成しやすくなる。

$$1 < HH_2 / \phi_2 < 2 \quad \dots (3E-3)$$

また、第5の変倍光学系において、第2群の少なくとも1枚の一体レンズが、他のレンズと接合されていることが好ましい。

これら上記の構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

また、第5の変倍光学系において、第2群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

第1群に入射した光束は、負の屈折力を有する第1群により、光束径が広げられる。そのため、第2群での光束径は大きくなる。そこで、第2群に少なくとも1面の非球面を含

むことで、諸収差の変動を良好に補正することができる。よって、光学系の小型化・低コスト化が実現できる。また、レンズ径を小型化するためには、各群のパワーを増す必要がある。ところが、第2群の正パワーを増すと、変倍に伴う第2群の横倍率や収差の変化が大きくなる。そこで、第2群で発生する収差を補正すると共に、変倍に伴う収差変動を抑制するためにも、第2群が非球面を含むことが望ましい。

また、第5の変倍光学系において、第3群が、少なくとも1枚の一体レンズを有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。前述のように、一体レンズは取り扱いが容易なので、変倍光学系の製造にかかるコストを削減することができる。

また、第5の変倍光学系において、第4群が少なくとも1枚の一体レンズを有することが好ましい。

上記の構成をとる理由とその作用は、第4の変倍光学系での説明と同じである。

また、第5の変倍光学系において、第4群の一体レンズの少なくとも1枚が、正の屈折力を有する正レンズであることが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。正レンズを一体レンズとして、正レンズのコバ厚を薄くできる。その結果、レンズ系の全長を短縮することができる。

また、第4群のレンズは有効径が大きいために、レンズに必要な光学材料の体積も大きくなる。そこで、第4群のレンズに一体レンズを用いることで、その光学材料の体積が小さくなる。よって、コストを削減できる。また、一体レンズは取り扱いが容易なので、変倍光学系の製造にかかるコストを削減することができる。

また、第5の変倍光学系において、第4群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH4 / \phi 4 < 1.0 \quad \dots \quad (5E)$$

ただし、HH4は第4群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 4$ は第4群正レンズの屈折力である。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第4群の正レンズのパワーを大きくすることは、第4群全体のパワーを大きくすることにつながる。その結果、レンズ系の全長を短縮できる。また、第4群の正レンズのパワーを大きくすることで、広角端での射出瞳位置を像面から遠ざけることができるので、像側テレセントリック性の確保が容易になる。ところが、従来の加工法では、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立は難しくなる。

(従来の加工法の詳細な説明は、第1の変倍光学系で述べた通りである。)

しかし、この正レンズを一体に成形にすれば、必要外径より大きく成形する必要がなくなる。また、条件式を満たすことで、大きなパワーを、薄いレンズで実現できる。そのため、より一層の小型化を実現できる。

条件式(5E)の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎるために偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。上限の1.0を越えると、主点間隔に比してパワーが小さいので、広角端での射出瞳位置が像面に近づいてしまい、像側テレセントリック性を確保できなくなるので好ましくない。

さらに、以下の条件式(5E-2)を満たすのが好ましい。この場合、レンズ全長の短縮及び像側テレセントリック性確保と各レンズの小型化の両立が達成できる。

$$0.5 < HH4 / \phi 4 < 7 \quad \dots \quad (5E-2)$$

さらに、以下の条件式(5E-3)を満たすのが好ましい。この場合、レンズ全長の短縮及び像側テレセントリック性確保と各レンズの小型化の両立が、より達成しやすくなる。

$$1 < HH4 / \phi 4 < 5 \quad \dots \quad (5E-3)$$

(6) 第1群が負レンズ群、第2群が正レンズ群、第3群が正レンズ群、第4群が正レンズ群。

第6の変倍光学系は、物体側から順に、負の屈折力を有する第1群と、正の屈折力を有する第2群と、正の屈折力を有する第3群と、正の屈折力を有する第4群とから構成されている。そして、少なくとも1枚のレンズが、成形後において少なくとも光学機能面を含む面となる第1の素材と、成形後において少なくとも光学機能面を含む面以外の面となる第2の素材とを用いて成形されている。すなわち、少なくとも1枚のレンズが、第1の素材と第2の素材とが一体化された一体レンズからなる。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。負の屈折力レンズ群・正の屈折力のレンズ群・正の屈折力のレンズ群・正の屈折力のレンズ群の順で構成された変倍光学系は、少ないレンズ枚数で光学系を構成できる。よって、このような光学系は、光学系の小型化・低コスト化に向いている。そして、一体レンズを用いることで、光学系をさらに小型化できる。これは、一体レンズでは、従来の加工法と比べると、心取り時の外周分厚さを確保する必要がなくなるからである。従来の加工法については、第1の変倍光学系での説明と同

じである。

また、このような一体レンズは、取り扱いが容易なので、変倍光学系の製造にかかるコストを削減することができる。

ここで、第6の変倍光学系においては、広角端から望遠端への変倍は、例えば、少なくとも、次のようにして行われる。すなわち、変倍に際して、第1群は、物体側に凹形状の軌跡を描くように移動させる。また、第2群は、物体側に移動させる。もちろん、その際に、第3群と第4群も移動させながら変倍を行うようにしてもよい。

また、第6の変倍光学系において、一体レンズが、他のレンズと接合されていることが好ましい。

また、第6の変倍光学系において、一体レンズの少なくとも1つの光学機能面が、非球面である非球面一体レンズであることが好ましい。

また、第6の変倍光学系において、第1群が、少なくとも1枚の正レンズを有することが好ましい。

また、第6の変倍光学系において、第1群の最も物体側に、負レンズを有することが好ましい。

また、第6の変倍光学系において、第1群が、少なくとも1枚の一体レンズを有することが好ましい。

また、第6の変倍光学系において、一体レンズの少なくとも1枚が、正の屈折力を有することが好ましい。

これら上記の構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

また、第6の変倍光学系において、第1群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH1 / \phi 1 < 1.5 \quad \dots (2F)$$

ただし、HH1は第1群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 1$ は第1群正レンズの屈折力である。

上記の構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

条件式(2F)の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎる。そのため、偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。また、上限の1.0を越えると、主点間隔に比してパワーが小さい。そのため、第1群の負レンズで発生した倍率色収差等を補正しきれなくなってしまう。あるいは、倍率色収差等を補正するために、レンズ枚

数が多くなってしまう。

さらに、以下の条件式（2F-2）を満たすのが好ましい。この場合、低成本のまま、光学系を小型にできる。

$$0.5 < HH1 / \phi 1 < 7 \quad \dots \quad (2F-2)$$

さらに、以下の条件式（2F-3）を満たすのがより好ましい。この場合、低成本のまま、光学系をより小型にできる。

$$1 < HH1 / \phi 1 < 4 \quad \dots \quad (2F-3)$$

また、第6の変倍光学系において、第1群の少なくとも1枚の一体レンズが、他のレンズと接合されていることが好ましい。

上記の構成をとる理由とその作用は、第3の変倍光学系での説明と同じである。

また、第6の変倍光学系において、第1群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第6の変倍光学系の広角端では、第1群での光束径が大きい。そこで、第1群に少なくとも1面の非球面を含むようにする。このようにすることで、球面収差やコマ収差等の軸外収差を、より少ないレンズ枚数で良好に補正することができる。よって、光学系の小型化・低成本化が実現できる。

また、望遠端では、第1群での光束径は大きい。そこで、第1群に少なくとも1面の非球面を含むことで、球面収差やコマ収差等を、より少ないレンズ枚数で良好に補正することができる。この場合も、光学系の小型化、低成本化が実現できる。

また、第6の変倍光学系において、第2群が、少なくとも1枚の負レンズを有することが好ましい。

また、第6の変倍光学系において、第2群の最も物体側に、正レンズを有することが好ましい。

また、第6の変倍光学系において、第2群の最も像側に、負レンズを有することが好ましい。

また、第6の変倍光学系において、第2群が少なくとも1枚の一体レンズを有し、一体レンズの少なくとも1枚が正の屈折力を有することが好ましい。

これら上記の構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

また、第6の変倍光学系において、第2群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH2 / \phi 2 < 1.0 \quad \dots (3F)$$

ただし、HH2は第2群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 2$ は第2群正レンズの屈折力である。

上記の構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

条件式(3F)の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎる。そのため、偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。また、上限の1.0を越えると、主点間隔に比してパワーが小さい。そのため、第2群の移動量が短縮できなくなる。その結果、レンズ全長が大きくなる。

さらに、以下の条件式(3F-2)を満たすのが好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が達成できる。

$$0.5 < HH2 / \phi 2 < 2 \quad \dots (3F-2)$$

さらに、以下の条件式(3F-3)を満たすのがより好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が、より達成しやすくなる。

$$1 < HH2 / \phi 2 < 1.5 \quad \dots (3F-3)$$

また、第6の変倍光学系において、第2群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

また、第6の変倍光学系において、第3群が、少なくとも1枚の一体レンズを有することが好ましい。

また、第6の変倍光学系において、第3群の一体レンズの少なくとも1枚が、正の屈折力を有する正レンズであることが好ましい。

これら上記の構成をとる理由とその作用は、第3の変倍光学系での説明と同じである。

また、第6の変倍光学系において、第3群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH3 / \phi 3 < 2.0 \quad \dots (4F)$$

ただし、HH3は第3群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 3$ は第3群正レンズの屈折力である。

上記の構成をとる理由とその作用は、第3の変倍光学系での説明と同じである。

条件式(4F)の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎるために偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。上限の2.0を越えると、主点間隔に比してパワーが小さいので、広角端での射出瞳位置が像面に近づいてしまう。その結果、

像側テレセントリック性を確保できなくなるので、好ましくない。

さらに、以下の条件式（4 F-2）を満たすのが好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が達成できる。

$$0.5 < HH3 / \phi 3 < 8 \quad \dots \quad (4 F-2)$$

さらに、以下の条件式（4 F-3）を満たすのがより好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が、より達成しやすくなる。

$$1 < HH3 / \phi 3 < 5 \quad \dots \quad (4 F-3)$$

また、第6の変倍光学系において、第3群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

また、第6の変倍光学系において、第4群が、少なくとも1枚の一体レンズを有することが好ましい。

これら上記の構成をとる理由とその作用は、第4の変倍光学系での説明と同じである。

また、第6の変倍光学系において、一体レンズの少なくとも1枚が、正の屈折力を有することが好ましい。

上記の構成をとる理由とその作用は、第5の変倍光学系での説明と同じである。

また、第6の変倍光学系において、第4群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH4 / \phi 4 < 2.0 \quad \dots \quad (5 F)$$

ただし、HH4：第4群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 4$ は第4群正レンズの屈折力である。

。

上記の構成をとる理由とその作用は、第5の変倍光学系での説明と同じである。

条件式（5 F）の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎる。そのため、偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。また、上限の2.0を越えると、主点間隔に比してパワーが小さい。そのため、広角端での射出瞳位置が像面に近づいてしまい、像側テレセントリック性を確保できなくなる。

さらに、以下の条件式（5 F-2）を満たすのが好ましい。この場合、レンズ全長の短縮、像側テレセントリック性確保及び各レンズの小型化の両立が達成できる。

$$0.5 < HH4 / \phi 4 < 8 \quad \dots \quad (5 F-2)$$

さらに、以下の条件式（5 F-3）を満たすのがより好ましい。この場合、レンズ全長の短縮、像側テレセントリック性確保及び各レンズの小型化の両立が、より達成しやすくな

なる。

$$1 < HH4 / \phi 4 < 5 \quad \cdots (5F-3)$$

また、第6の変倍光学系において、第4群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。広角端では、第4群での光束径は大きい。そこで、第4群に少なくとも1面の非球面を含むことで、変倍に伴う球面収差やコマ収差等の諸収差の変動をより少ない枚数で良好に補正できる。すなわち小型・低コストが好ましい。

(7) 第1群が正レンズ群、第2群が負レンズ群、第3群が正レンズ群、第4群が正レンズ群。

第7の変倍光学系は、物体側から順に、正の屈折力を有する第1群と、負の屈折力を有する第2群と、正の屈折力を有する第3群と、正の屈折力を有する第4群とから構成されている。そして、少なくとも1枚のレンズが、成形後において少なくとも光学機能面を含む面となる第1の素材と、成形後において少なくとも光学機能面を含む面以外の面となる第2の素材とを用いて成形されている。すなわち、少なくとも1枚のレンズが、第1の素材と第2の素材とが一体化された一体レンズからなる。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。正の屈折力レンズ群・負の屈折力のレンズ群・正の屈折力のレンズ群・正の屈折力のレンズ群の順で構成された変倍光学系は、少ないレンズ枚数で、全長固定・高性能な光学系を実現できる。また、このような光学系は、小型化・低コスト化に向いているものである。そして、一体レンズを用いることで、光学系をさらに小型化できる。これは、一体レンズでは、従来の加工法と比べると、心取り時の外周分厚さを確保する必要がなくなるからである。従来の加工法については、第1の変倍光学系での説明と同じである。

また、このような一体レンズは、取り扱いが容易なので、変倍光学系の製造にかかるコストを削減することができる。

ここで、第7の変倍光学系においては、広角端から望遠端への変倍は、例えば、次のようにして行われる。すなわち、第2群を像側へ移動させる。また、第3群と第4群を物体側へ移動させる。なお、第3群と第4群は、その間隔を広げながら移動させる。もちろん、第1群も移動させながら変倍を行うようにしてもよい。

また、第7の変倍光学系において、一体レンズが、他のレンズと接合されていることが好ましい。また、第7の変倍光学系において、一体レンズの少なくとも1つの光学機能面が、非球面である非球面一体レンズであることが好ましい。

これら上記構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

また、第7の変倍光学系において、第1群が、少なくとも1枚の正レンズを有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第1群のレンズは有効径が大きいため、必要とする体積も大きくなる。しかし、第1群のレンズに一体レンズを用いることで、光学材料の体積を小さくすることができる。その結果、コストを削減することができる。また、レンズ自体の体積も小さくなるので、光学系を小型化できる。また、一体レンズは取り扱いが容易なので、光学系の製造にかかるコストを削減できる。

また、第7の変倍光学系において、第1群の一体レンズの少なくとも1枚が、正の屈折力を有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第1群の正レンズには、倍率色収差や球面収差等の補正のために、高屈折率高分散の光学材料で構成するのが好ましい。ただし、一般に高屈折率高分散の光学材料はコストがかかる。しかも、それだけでなく、第1群の正レンズは有効径が大きいために、必要とする体積も大きくなる。しかし、この正レンズとして一体レンズを用いれば、このような光学材料の体積を小さくできる。よって、コストを削減するので、好ましい。

また、レンズ自体の体積も小さくなるので、光学系を小型化できる。また、この正レンズを一体レンズとして、正レンズのコバ厚を薄くできる。よって、光学系の全長を短縮することができる。

また、第7の変倍光学系において、第1群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH1 / \phi 1 < 2.0 \quad \dots \quad (2G)$$

ただし、HH1は第1群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 1$ は第1群正レンズの屈折力である。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第1群の正レンズのパワーが弱いと、レンズ全長の増大を招くと同時に、前玉径も増大してしまう。そのため、第1群の正レンズは、大きなパワーを有するのが好ましい。ところが、従来の加工法では、低コストと小型化

との両立が難しくなる。（従来の加工法の詳細な説明は、第1の変倍光学系で述べた通りである。）

しかし、この正レンズを一体レンズに成形することで、必要外径より大きく成形する必要がなくなる。また、条件式（2G）を満たすことで、大きなパワーを、薄いレンズで実現できる。そのため、低コスト化と小型化とを同時に達成することができる。

条件式（2G）の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎる。そのため、偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。また、その上限の2.0を越えると、主点間隔に比してパワーが小さいので、レンズ全長が長くなる。さらに、前玉径が大きくなってしまうので、光学系の小型化が困難になる。

さらに、以下の条件式（2G-2）を満たすのが好ましい。この場合、低コストのまま、光学系を小型にできる。

$$0.5 < HH1 / \phi 1 < 1.0 \quad \dots \quad (2G-2)$$

さらに、以下の条件式（2G-3）を満たすのがよりこの好ましい。この場合、低コストのまま、光学系をより小型にできる。

$$1 < HH1 / \phi 1 < 5 \quad \dots \quad (2G-3)$$

また、第7の変倍光学系において、第2群が、少なくとも1枚の正レンズを有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第2群は負のパワーを持つため、少なくとも1枚の負レンズを有している。そこで、この第2群に正レンズを含むことによって、変倍に伴う球面収差やコマ収差・倍率色収差等の諸収差の変動を抑制することができる。

また、第7の変倍光学系において、第2群の最も物体側に、負レンズを有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。このようにすると、第2群のレンズ有効径やレンズ全長を短縮することができる。

また、第7の変倍光学系において、第2群が、少なくとも1枚の一体レンズを有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用は、第2の変倍光学系での説明と同じである。

また、第7の変倍光学系において、第2群の一体レンズの少なくとも1枚が、正の屈折力を有することが好ましい。

第2群は負のパワーであるため、少なくとも1枚の負レンズを有している。そこで、正

レンズを含むことによって、変倍に伴う球面収差やコマ収差等の諸収差の変動を抑制できる。

また、第2群の正レンズには、変倍に伴う球面収差やコマ収差等の諸収差の抑制のために、高屈折率高分散の光学材料を用いるのが好ましい。しかし、一般に、高屈折率高分散の光学材料はコストがかかる。しかも、それだけでなく、第2群の正レンズは有効径が大きいために、必要とする体積も大きくなる。そこで、この正レンズを一体レンズとして、正レンズに必要な光学材料の体積を小さくできる。よって、コストを削減できるので、好ましい。

また、レンズ自体の体積も小さくなるので、光学系を小型化できる。また、一体レンズは取り扱いが容易なので、光学系の製造にかかるコストを削減できる。

また、第7の変倍光学系において、第2群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH_2 / \phi_2 < 1.5 \quad \dots \quad (3G)$$

ただし、 HH_2 は第2群正レンズの主点間隔(mm)、 ϕ_2 は第2群正レンズの屈折率である。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。レンズの有効径やレンズ全長を短縮するためには、第2群の負レンズは大きいパワーを有することが好ましい。よって、変倍に伴う球面収差やコマ収差等の変動を良好に補正するためには、第2群に大きなパワーの正レンズを有するのが好ましい。低成本と小型化との両立が難しくなる。(従来の加工法の詳細な説明は、第1の変倍光学系で述べた通りである。)

しかし、この正レンズを一体レンズとして、必要外径より大きく成形する必要がなくなる。また、条件式(2)を満たすことで、大きなパワーを薄いレンズで実現できる。そのため、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が実現できる。

条件式(3G)の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎる。そのため、偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。上限の1.5を越えると、主点間隔に比してパワーが小さい。そのため、第2群の負レンズで発生した球面収差やコマ収差等の諸収差の変倍に伴う変動を抑制するのが困難になる。その結果、良好な性能を得るには複数枚のレンズが必要となる。

さらに、以下の条件式(3G-2)を満たすのが好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が達成できる。

$$0.5 < HH2 / \phi 2 < 7 \quad \dots (3G-2)$$

さらに、以下の条件式（3G-3）を満たすのがよりこの好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が、より達成しやすくなる。

$$1 < HH2 / \phi 2 < 4 \quad \dots (3G-3)$$

また、第7の変倍光学系において、第2群の少なくとも1枚の一体レンズが、他のレンズと接合されていることが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用は、第1の変倍光学系での説明と同じである。

また、第7の変倍光学系において、第2群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第7の変倍光学系の広角端では、第2群での光線高が高い。そこで、第2群に少なくとも1面の非球面を含むようにする。このようにすることで、非点収差や歪曲収差、コマ収差等の軸外収差を、より少ないレンズ枚数で良好に補正することができる。よって、光学系の小型化・低コスト化が実現できる。

また、望遠端では、第2群での光束径は大きい。そこで、第2群に少なくとも1面の非球面を含むことで、球面収差やコマ収差等を、より少ないレンズ枚数で良好に補正することができる。この場合も、光学系の小型化、低コスト化が実現できる。

また、第7の変倍光学系において、第3群が、少なくとも1枚の負レンズを有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第3群は正のパワーであるため、少なくとも1枚の正レンズを有している。そこで、負レンズを含むことによって、変倍に伴うコマ収差や非点収差・軸上色収差等の諸収差の変動を抑制できる。

また、第7の変倍光学系において、第3群の最も物体側に、正レンズを有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第3群の最も物体側に正レンズを配置することで、主点位置が第2群側に移動する。よって、第2群と第3群の主点間隔が短縮できるので、レンズ全長の短縮につながる。

また、第7の変倍光学系において、第3群が少なくとも1枚の一体レンズを有し、一体レンズの少なくとも1枚が正の屈折力を有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。正レンズを一体レンズとして、正レンズのコバ厚を薄くできる。その結果、レンズ系の全長を、短縮することができる。

また、第3群の正レンズには、軸上色収差・球面収差・非点収差等の抑制のために、高屈折率低分散の光学材料を用いることが好ましい。しかし、一般に、高屈折率低分散の光学材料はコストがかかる。そこで、この正レンズを一体レンズとすることで、光学材料の体積が小さくなる。その結果、コストを削減できる。

また、レンズ自体の体積も小さくなるので、光学系を小型化できる。また、一体レンズは取り扱いが容易なので、変倍光学系の製造にかかるコストを削減することができる。

また、第7の変倍光学系において、第3群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH_3 / \phi_3 < 8 \quad \dots (4G)$$

ただし、 HH_3 は3群正レンズの主点間隔(mm)、 ϕ_3 は3群正レンズの屈折力である。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第3群に配置された正レンズのパワーを大きくすることで、第3群の移動距離を短縮できる。よって、このようにすると、レンズ全長を短縮することができる。ところが、従来の加工法では、低成本と小型化との両立が難しくなる。(従来の加工法の詳細な説明は、第1の変倍光学系で述べた通りである。)

しかし、この正レンズを一体レンズとすることで、必要外径より大きく成形する必要がなくなる。また、条件式(4G)を満たすことで、大きなパワーを薄いレンズで実現できるため、より一層の小型化を実現できる。

条件式(4G)の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎる。そのため、偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。また、上限の8を越えると、主点間隔に比してパワーが小さい。そのため、第3群の移動量が短縮できなくなり、レンズ全長が大きくなる。

さらに、以下の条件式(4G-2)を満たすのが好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が達成できる。

$$0.5 < HH_3 / \phi_3 < 5 \quad \dots (4G-2)$$

さらに、以下の条件式(4G-3)を満たすのがよりこの好ましい。この場合、レンズ全長の短縮と各レンズの小型化の両立が、より達成しやすくなる。

$$1 < HH_3 / \phi_3 < 2.5 \quad \dots (4G-3)$$

また、第7の変倍光学系において、第3群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。第3変倍光学系では、負の屈折力を有する

第2群により光束径が広げられるため、広角端では第3群での光束径が大きい。そこで、第3群に少なくとも1面の非球面を含むようにする。このようにすることで、変倍に伴う球面収差やコマ収差等の諸収差の変動を、より少ない枚数で良好に補正することができる。よって、光学系の小型化・低コスト化が実現できる。

また、第7の変倍光学系において、第4群が、少なくとも1枚の一体レンズを有することが好ましい。

上記の構成をとる理由とその作用は、第4の変倍光学系での説明と同じである。

また、第7の変倍光学系において、第4群の一体レンズの少なくとも1枚が、正の屈折力を有することが好ましい。

上記の構成をとる理由とその作用は、第5の変倍光学系での説明と同じである。

また、第7の変倍光学系において、第4群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < HH4 / \phi 4 < 1.0 \quad \dots (5G)$$

ただし、HH4は4群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 4$ は4群正レンズの屈折力である。

上記の構成をとる理由とその作用は、第5の変倍光学系での説明と同じである。

条件式(5G)の下限の0.1を下回ると、主点間隔に比してパワーが大きすぎる。そのため、偏心感度も大きくなり、光学性能を保ち難くなる。また、上限の1.0を越えると、主点間隔に比してパワーが小さい。そのため、広角端での射出瞳位置が像面に近づいてしまい、像側テレセントリック性を確保できなくなる。

さらに、以下の条件式(5G-2)を満たすのが好ましい。この場合、レンズ全長の短縮、像側テレセントリック性確保及び各レンズの小型化の両立が達成できる。

$$0.5 < HH4 / \phi 4 < 7 \quad \dots (5G-2)$$

さらに、以下の条件式(5G-3)を満たすのがより好ましい。この場合、レンズ全長の短縮、像側テレセントリック性確保及び各レンズの小型化の両立が、より達成しやすくなる。

$$1 < HH4 / \phi 4 < 4 \quad \dots (5G-3)$$

また、第7の変倍光学系において、第4群の少なくとも1枚の一体レンズが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

上記構成をとる理由とその作用を説明する。広角端において、第4群では光線高が高い。そこで、第4群に少なくとも1面の非球面を含むことで、歪曲収差や非点収差等の軸外

収差を、より少ない枚数で良好に補正できる。よって、光学系の小型化・低コスト化ができる。

また、本発明の電子機器は、以上の変倍光学系と、その像側に配された電子撮像素子とを有することが好ましい。

以上の変倍光学系は、小型で低コストな光学系である。よって、このような変倍光学系を撮像光学系として搭載した電子機器において、機器の小型化・低コスト化を図ることができる。なお、電子機器としては、デジタルカメラ、ビデオカメラ、デジタルビデオユニット、パーソナルコンピュータ、モバイルコンピュータ、携帯電話、情報携帯端末等がある。

次に、変倍光学系（ズームレンズ）の実施例について、上記の第1の変倍光学系から第7の変倍光学系に分け、図面を参照して説明する。実施例の番号の表記は、第1の変倍光学系の実施例1は“実施例1-1”、第5の変倍光学系の実施例2は“実施例5-2”的ように表記する。各実施例共、レンズ断面図と収差図を示す。レンズ断面図は光軸に沿うレンズ断面であって、無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）のレンズ断面を示す。各図中、G1は第1レンズ群、G2は第2レンズ群、G3は第3レンズ群、G4は第4レンズ群、Sは開口絞り、Fは近赤外カットフィルター、ローパスフィルター、電子撮像素子のカバーガラス等の平行平面板群、Iは像面を示す。また、収差図は、球面収差、非点収差、倍率色（収差）、歪曲収差の収差であって、無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）の収差を示す。なお、これら収差図中において、“F I Y”は像高を表す。

（1）第1群が負レンズ群、第2群が正レンズ群。

第1の変倍光学系（ズームレンズ）の実施例1-1及び実施例1-2について、図面を参照して説明する。実施例1-1、1-2の無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）の光軸に沿うレンズ断面図をそれぞれ図7、図8に示す。また、実施例1-1、1-2の無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）の球面収差、非点収差、倍率色（収差）、歪曲収差の収差図をそれぞれ図9、図10に示す。

実施例1-1の変倍光学系を、図7に示す。実施例1-1の変倍光学系は、物体側から

順に、第1レンズ群G1と、開口絞りSと、第2レンズ群G2とで構成されている。そして、広角端から望遠端に変倍する際は、第1レンズ群G1は物体側に凹の軌跡を描いて移動し、望遠端では広角端と同じ位置に位置し、第2レンズ群G2は開口絞りSと一緒に物体側へ移動する。

第1レンズ群G1は、全体で負のパワーを有している。この第1レンズ群G1は、物体側から順に、両凹負レンズと、像側に凹面を向けた正メニスカスレンズとで構成されている。そして、非球面は、両凹負レンズの両面である。

第2レンズ群G2は、全体で正のパワーを有している。この第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凸正レンズと、両凸正レンズと両凹負レンズとの接合レンズとで構成されている。そして、非球面は、第2レンズ群G2の最も物体側の面と最も像側の面である。

本実施例に係る変倍光学系を構成する全レンズは、第2レンズ群G2の像側の両凹負レンズを除き、一体レンズである。この一体レンズは、図1に示す方法で製造されたものである。

一体化レンズ10の例を図11に示す。この一体化レンズ10は、本実施例に係る変倍光学系に用いられる。図11は、第2レンズ群G2の接合レンズの断面図である。このレンズは、物体側の両凸正レンズを一体化レンズ10としたものである。そして、その像側に、両凹負レンズを接合している。第2の素材12の厚さは0.3mmである。このとき、図11に示していないが、第2の素材12に穴や凹凸形状を成形の際に、同時に加工するようにしてもよい。

実施例1-2の変倍光学系を、図8に示す。実施例1-2の変倍光学系は、物体側から順に、第1レンズ群G1と、開口絞りSと、第2レンズ群G2とで構成されている。そして、広角端から望遠端に変倍する際は、第1レンズ群G1は物体側に凹の軌跡を描いて移動し、望遠端では広角端と略同じ位置に位置し、第2レンズ群G2は開口絞りSと一緒に物体側へ移動する。

第1レンズ群G1は、全体で負のパワーを有している。この第1レンズ群G1は、物体側から順に、両凹負レンズと、像側に凹面を向けた正メニスカスレンズとで構成されている。そして、非球面は、両凹負レンズの物体側の面である。

第2レンズ群G2は、全体で正のパワーを有している。この第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凸正レンズと像側に凸面を向けた負メニスカスレンズとの接合レンズと、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズとで構成されている。そして、非球面は、第2レ

ンズ群G 2 の最も物体側の面と最も像側の面である。

本実施例に係る変倍光学系を構成する全レンズは、第2 レンズ群G 2 の物体側の負メニスカスレンズを除き、一体レンズである。この一体レンズは、図3 に示す方法で製造されたものである。

本実施例で的一体化レンズ1 0 の例を、図1 2 、図1 3 に示す。この一体化レンズ1 0 は、本実施例に係る変倍光学系に用いられる。図1 2 は、第2 レンズ群G 2 の接合レンズの断面図である。この接合レンズでは、物体側の両凸正レンズを一体化レンズ1 0 としている。そして、その像側に、負メニスカスレンズを接合している。第2 の素材1 2 の厚さは0. 25 mmである。また、図1 3 は、第2 レンズ群G 2 の像側のレンズの断面図である。このレンズは、負メニスカスレンズを一体化レンズ1 0 としたものである。第2 の素材1 2 の厚さは1. 5 mmである。このとき、図1 2 及び図1 3 に示してはいけないが、第2 の素材1 2 に穴や凹凸形状を成形の際に同時に加工するようにしてもよい（図3 参照）。

上記各実施例の数値データは後で示す。

（2）第1群が正レンズ群、第2群が負レンズ群。

第2の変倍光学系（ズームレンズ）の実施例2-1 及び実施例2-2 について、図面を参照して説明する。実施例2-1 、2-2 の無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）の光軸に沿うレンズ断面図をそれぞれ図14 、図15 に示す。また、実施例2-1 、2-2 の無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）の球面収差、非点収差、倍率色（収差）、歪曲収差の収差図をそれぞれ図16 、図17 に示す。

実施例2-1 の変倍光学系を、図14 に示す。実施例2-1 の変倍光学系は、物体側から順に、開口絞りSと、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2とで構成されている。そして、広角端から望遠端に変倍する際は、第1レンズ群G1は開口絞りSと一体で物体側へ移動し、第2レンズ群G2は第1レンズ群G1との間隔を狭めながら物体側へ移動する。

第1レンズ群G1は、全体で正のパワーを有している。この第1レンズ群G1は、物体側から順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズと、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズと、両凸正レンズとで構成されている。非球面は、正メニスカスレンズの両面と、両凸正レンズの像側の面である。

第2レンズ群G2は、全体で負のパワーを有している。この第2レンズ群G2は、物体側から順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズと、両凹負レンズとで構成されている。非球面は、両凹負レンズの物体側面である。

本実施例に係る変倍光学系を構成する全レンズは、第2レンズ群G2の両凹負レンズを除き、一体レンズである。この一体レンズは、図1に示す方法で製造されたものである。

一体化レンズ10の例を図18に示す。この一体化レンズ10は、本実施例に係る変倍光学系に用いられる。図18は、第2レンズ群G2のレンズの断面図である。このレンズは、物体側の正メニスカスレンズを一体化レンズ10としたものである。第2の素材12の厚さは0.4mmである。このとき、図18に示してはいないが、第2の素材12に穴や凹凸形状を成形の際に、同時に加工するようにしてもよい。

実施例2-2の変倍光学系を、図15に示す。実施例2-2の変倍光学系は、物体側から順に、開口絞りSと、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2とで構成されている。そして、広角端から望遠端に変倍する際は、第1レンズ群G1は開口絞りSと一緒に物体側へ移動し、第2レンズ群G2は第1レンズ群G1との間隔を狭めながら物体側へ移動する。

第1レンズ群G1は、全体で正のパワーを有している。この第1レンズ群G1は、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズと、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズと両凸正レンズとの接合レンズとで構成されている。そして、非球面は、正メニスカスレンズの両面と、接合レンズの最も像側の面である。

第2レンズ群G2は、全体で負のパワーを有している。この第2レンズ群G2は、物体側から順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズと、両凹負レンズとで構成されている。そして、非球面は、両凹負レンズの物体側の面である。

本実施例に係る変倍光学系を構成する全レンズは、第1レンズ群G1の像側の負メニスカスレンズを除き、一体レンズである。この一体レンズは、図3に示す方法で製造されたものである。

本実施例での一体化レンズ10の例を図19に示す。この一体化レンズ10は、本実施例に係る変倍光学系に用いられる。図19は、第1レンズ群G1の接合レンズの断面図である。この接合レンズでは、像側の両凸正レンズを一体化レンズ10としている。そして、その物体側に、負メニスカスレンズを接合している。第2の素材12の厚さは0.2mmである。このとき、図19に示していないが、第2の素材12に穴や凹凸形状を成形の

際に同時に加工するようにしてもよい(図3参照)。

上記各実施例の数値データは後で示す。

(3) 第1群が負レンズ群、第2群が正レンズ群、第3群が正レンズ群。

第3の変倍光学系(ズームレンズ)の実施例3-1及び実施例3-2について、図面を参照して説明する。実施例3-1、3-2の無限遠物点合焦時の広角端(a)、中間状態(b)、望遠端(c)の光軸に沿うレンズ断面図をそれぞれ図20、図21に示す。また、実施例3-1、3-2の無限遠物点合焦時の広角端(a)、中間状態(b)、望遠端(c)の球面収差、非点収差、倍率色(収差)、歪曲収差の収差図をそれぞれ図22、図23に示す。

実施例3-1の変倍光学系を、図20に示す。実施例3-1の変倍光学系は、物体側から順に、第1レンズ群G1と、開口絞りSと、第2レンズ群G2と、第3レンズ群G3とで構成されている。そして、広角端から望遠端に変倍する際は、第1レンズ群G1は物体側に凹の軌跡を描いて移動し、望遠端では広角端と同じ位置に位置する。また、第2レンズ群G2は、開口絞りSと一緒に物体側へ移動する。第3レンズ群G3は像側に移動する。

第1レンズ群G1は、全体で負のパワーを有している。この第1レンズ群G1は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズと、像側に凹面を向けた正メニスカスレンズとで構成されている。そして、非球面は、負メニスカスレンズの像側の面である。

第2レンズ群G2は、全体で正のパワーを有している。この第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凸正レンズと、両凹負レンズと、両凸正レンズと構成されている。そして、非球面は、最も物体側の両凸正レンズの物体側の面である。

第3レンズ群G3は、正のパワーを有している。この第3レンズ群G3は、像側に凹面を向けた正メニスカスレンズで構成されている。そして、非球面は、正メニスカスレンズ物体側の面である。

本実施例に係る変倍光学系を構成する全レンズは、第1レンズ群G1の物体側の負メニスカスレンズを除き、一体レンズである。この一体レンズは、図1に示す方法で製造されたものである。

一体化レンズ10の例を図24に示す。この一体化レンズ10は、本実施例に係る変倍

光学系に用いられる。図24は、第1レンズ群G1の像側の正メニスカスレンズの断面図である。このレンズは、正メニスカスレンズを一体化レンズとしたものである。第2の素材12の厚さは0.45mmである。このとき、図24に示してはいるが、第2の素材12に穴や凹凸形状を成形の際に同時に加工するようにしてもよい。

実施例3-2の変倍光学系を、図21に示す。実施例3-2の変倍光学系は、物体側から順に、第1レンズ群G1と、開口絞りSと、第2レンズ群G2と、第3レンズ群G3とで構成されている。そして、広角端から望遠端に変倍する際は、第1レンズ群G1は物体側に凹の軌跡を描いて移動し、望遠端では広角端と略同じ位置に位置する。また、第2レンズ群G2は、開口絞りSと一緒に物体側へ移動する。第3レンズ群G3は固定である。

第1レンズ群G1は、全体で負のパワーを有している。この第1レンズ群G1は、両凹負レンズと像側に凹面を向けた正メニスカスレンズとの接合レンズで構成されている。そして、非球面は、両凹負レンズの物体側の面である。

第2レンズ群G2は、全体で正のパワーを有している。この第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凸正レンズと、両凸正レンズと両凹負レンズとの接合レンズとで構成されている。そして、非球面は、最も物体側の両凸正レンズの物体側の面である。

第3レンズ群G3は、正のパワーを有している。この第3レンズ群G3は、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズで構成されている。そして、非球面は、正メニスカスレンズの像側の面である。

本実施例に係る変倍光学系を構成する全レンズは、第2レンズ群G2の両凹負レンズを除き、一体レンズである。この一体レンズは、図3に示す方法で製造されたものである。

一体化レンズ10の例を図25に示す。この一体化レンズ10は、本実施例に係る変倍光学系に用いられる。図25は、第2レンズ群G2の接合レンズ断面図である。このレンズは、物体側の両凸正レンズを一体化レンズ10としている。そして、その像側に両凹負レンズを接合している。第2の素材12の厚さは0.3mmである。このとき、図25に示していないが、第2の素材12に穴や凹凸形状を成形の際に同時に加工するようにしてもよい(図3参照)。

上記各実施例の数値データは後で示す。

(4) 第1群が負レンズ群、第2群が正レンズ群、第3群が正レンズ群、第4群が負レンズ群。

第4の変倍光学系（ズームレンズ）の実施例4-1及び実施例4-2について、図面を参照して説明する。実施例4-1、4-2の無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）の光軸に沿うレンズ断面図をそれぞれ図26、図27に示す。また、実施例4-1、4-2の無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）の球面収差、非点収差、倍率色（収差）、歪曲収差の収差図をそれぞれ図28、図29に示す。

実施例4-1の変倍光学系を、図26に示す。実施例4-1の変倍光学系は、物体側から順に、第1レンズ群G1と、開口絞りSと、第2レンズ群G2と、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とで構成されている。そして、広角端から望遠端に変倍する際に、第1レンズ群G1は物体側に凹の軌跡を描いて移動し、望遠端では広角端と略同じ位置に位置し、第2レンズ群G2は開口絞りSと一緒に物体側へ移動し、第3レンズ群G3、第4レンズ群G4は固定である。

第1レンズ群G1は、全体で負のパワーを有している。この第1レンズ群G1は、物体側から順に、両凹負レンズと、像側に凹面を向けた正メニスカスレンズとで構成されている。そして、非球面は、両凹負レンズの像側の面である。

第2レンズ群G2は、全体で正のパワーを有している。この第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凸正レンズと、両凸正レンズと両凹負レンズとの接合レンズとで構成されている。そして、非球面は、単レンズの両凸正レンズの物体側の面と、接合レンズの最も物体側の面である。

第3レンズ群G3は、正のパワーを有している。この第3レンズ群G3は、両凸正レンズで構成されている。この第3レンズ群G3は合焦時にのみ光軸方向に移動する。

第4レンズ群G4は、負のパワーを有している。この第4レンズ群G4は、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズで構成されている。非球面は、負メニスカスレンズ像側の面である。

本実施例に係る変倍光学系を構成する全てのレンズは、一体レンズである。この一体レンズは、図1に示す方法で製造されたものである。

一体化レンズ10の例を図30に示す。この一体化レンズ10は、本実施例に係る変倍光学系に用いられる。図30は、第1レンズ群G1の物体側から数えて2番目のレンズの断面図である。このレンズは、正メニスカスレンズを一体化レンズとしたものである。ここで、第2の素材12の厚さは0.4mmである。このとき、図30に示してはない

が、第2の素材12に穴や凹凸形状を成形の際に同時に加工するようにしてもよい。

実施例4-2の変倍光学系を、図27に示す。実施例4-2の変倍光学系は、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とで構成されている。そして、開口絞りSが第2レンズ群G2中の第1レンズと第2レンズの間に一体に配置されている。また、広角端から望遠端に変倍する際は、第1レンズ群G1は物体側に凹の軌跡を描いて移動し、望遠端では広角端と略同じ位置に位置し、第2レンズ群G2は開口絞りSと一体で物体側へ移動し、第3レンズ群G3、第4レンズ群G4は固定である。

第1レンズ群G1は、全体で負のパワーを有している。この第1レンズ群G1は、両凹負レンズと像側に凹面を向けた正メニスカスレンズとの接合レンズで構成されている。

第2レンズ群G2は、全体で正のパワーを有している。この第2レンズ群G2は、物体側から順に、像側に凹面を向けた正メニスカスレンズと、開口絞りSと、両凸正レンズと両凹負レンズとの接合レンズとで構成されている。非球面は、正メニスカスレンズの物体側の面と、接合レンズの最も物体側の面と最も像側の面である。

第3レンズ群G3は、正のパワーを有している。この第3レンズ群G3は、像側に凸面を向けた正メニスカスレンズで構成されている。この第3レンズ群G3は、合焦時にのみ光軸方向に移動する。

第4レンズ群G4は、負のパワーを有している。この第4レンズ群G4は、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズで構成されている。非球面は、負メニスカスレンズ像側の面である。

本実施例に係る変倍光学系を構成するレンズは、第1レンズ群G1の両凹負レンズを除き、一体レンズである。この一体レンズは、図3に示す方法で製造されたものである。

一体化レンズ10の例を図31に示す。この一体化レンズ10は、本実施例に係る変倍光学系に用いられる。図31は、第1レンズ群G1の接合レンズの断面図である。この接合レンズでは、像側の正メニスカスレンズを一体化レンズ10としている。そして、その物体側に両凹負レンズを接合している。第2の素材12の厚さは0.3mmである。このとき、図31に示してはいるが、第2の素材12に、穴や凹凸形状を成形の際に同時に加工するようにしてもよい（図3参照）。

上記各実施例の数値データは後で示す。

(5) 第1群が負レンズ群、第2群が正レンズ群、第3群が負レンズ群、第4群が正レンズ群。

第5の変倍光学系(ズームレンズ)の実施例5-1及び実施例5-2について、図面を参照して説明する。実施例5-1、5-2の無限遠物点合焦時の広角端(a)、中間状態(b)、望遠端(c)の光軸に沿うレンズ断面図をそれぞれ図32、図33に示す。また、実施例4-1、4-2の無限遠物点合焦時の広角端(a)、中間状態(b)、望遠端(c)の球面収差、非点収差、倍率色(収差)、歪曲収差の収差図をそれぞれ図34、図35に示す。

実施例5-1の変倍光学系を、図32に示す。実施例5-1の変倍光学系は、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とで構成されている。そして、広角端から望遠端に変倍する際に、第1レンズ群G1は固定であり、第2レンズ群G2は開口絞りSと一緒に物体側へ移動し、第3レンズ群G3は第4レンズ群G4との間の間隔を一旦狭めた後に広げながら物体側へ移動し、第4レンズ群G4は固定である。

第1レンズ群G1は、全体で負のパワーを有している。この第1レンズ群G1は、両凹負レンズと像側に凹面を向けた正メニスカスレンズとの接合レンズで構成されている。そして、非球面は、その接合レンズの最も物体側の面と最も像側の面である。

第2レンズ群G2は、全体で正のパワーを有している。この第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凸正レンズと、両凸正レンズと両凹負レンズとの接合レンズとで構成されている。そして、非球面は、両凸正レンズの物体側の面と、接合レンズの最も物体側の面と最も像側の面である。

第3レンズ群G3は、負のパワーを有している。この第3レンズ群G3は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズで構成されている。そして、非球面は、負メニスカスレンズの像側の面である。

第4レンズ群G4は、正のパワーを有している。この第4レンズ群G4は、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズで構成されている。そして、非球面は、正メニスカスレンズの像側の面である。

本実施例に係る変倍光学系を構成する全レンズは、第3レンズ群G3の負メニスカスレンズを除き一体レンズである。この一体レンズは、図1に示す方法で製造されたものである。

一体化レンズ10の例を図36に示す。この一体化レンズ10は、本実施例に係る変倍光学系に用いられる。図36は、第2レンズ群G2の物体側の両凸正レンズの断面図である。このレンズは、両凸正レンズを一体化レンズとしたものである。第2の素材12の厚さは0.4mmである。このとき、図36に示してはいないが、第2の素材12に穴や凹凸形状を成形の際に同時に加工するようにしてもよい。

実施例5-2の変倍光学系を、図33に示す。実施例5-2の変倍光学系は、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とで構成されている。そして、広角端から望遠端に変倍する際は、第1レンズ群G1は固定であり、第2レンズ群G2は開口絞りSと一緒に物体側へ移動し、第3レンズ群G3は第4レンズ群G4との間の間隔を一旦若干狭めた後に広げながら物体側へ移動し、第4レンズ群G4は固定である。

第1レンズ群G1は、全体で負のパワーを有している。この第1レンズ群G1は、両凹負レンズと像側に凹面を向けた正メニスカスレンズとの接合レンズで構成されている。そして、非球面は、接合レンズの最も物体側の面と最も像側の面である。

第2レンズ群G2は、全体で正のパワーを有している。この第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凸正レンズと、両凸正レンズと両凹負レンズとの接合レンズとで構成されている。そして、非球面は、単レンズの両凸正レンズの物体側の面と、接合レンズの最も物体側の面と最も像側の面である。

第3レンズ群G3は、負のパワーを有している。この第3レンズ群G3は、両凹負レンズで構成されている。そして、非球面は、負メニスカスレンズの像側の面である。

第4レンズ群G4は、正のパワーを有している。この第4レンズ群G4は、両凸正レンズで構成されている。そして、非球面は、両凸正レンズの像側の面である。

本実施例に係る変倍光学系を構成する全レンズは、第2レンズ群G2の両凹負レンズを除き一体レンズである。この一体レンズは、図3に示す方法で製造されたものである。

一体化レンズ10の例を図37に示す。この一体化レンズ10は、本実施例に係る変倍光学系に用いられる。図37は、第1レンズ群G2の接合レンズの断面図である。この接合レンズでは、物体側の両凸正レンズを一体化レンズ10としている。そして、その像側に、両凹負レンズを接合している。第2の素材12の厚さは0.5mmである。このとき、図37に示してはいないが、第2の素材12に穴や凹凸形状を成形の際に同時に加工するようにしてもよい(図3参照)。

上記各実施例の数値データは後で示す。

(6) 第1群が負レンズ群、第2群が正レンズ群、第3群が正レンズ群、第4群が正レンズ群。

第6の変倍光学系（ズームレンズ）の実施例6-1～実施例6-3について、図面を参照して説明する。実施例6-1～6-3の無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）の光軸に沿うレンズ断面図をそれぞれ図38～図40に示す。また、実施例6-1～6-3の無限遠物点合焦時の広角端（a）、中間状態（b）、望遠端（c）の球面収差、非点収差、倍率色（収差）、歪曲収差の収差図をそれぞれ図41～図43に示す。

実施例6-1の変倍光学系を、図38に示す。実施例6-1の変倍光学系は、物体側から順に、第1レンズ群G1と、開口絞りSと、第2レンズ群G2と、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とで構成されている。そして、広角端から望遠端に変倍する際は、第1レンズ群G1は物体側に凹の軌跡を描いて移動し、望遠端では広角端と略同じ位置に位置する。また、第2レンズ群G2は開口絞りSと一緒に物体側へ移動する。第3レンズ群G3は、物体側へわずかに移動する。第4レンズ群G4は物体側に凸の軌跡を描いてわずかに移動し、望遠端では広角端より像側に位置する。

第1レンズ群G1は、全体で負のパワーを有している。この第1レンズ群G1は、物体側から順に、両凹負レンズと、像側に凹面を向けた正メニスカスレンズとで構成されている。そして、非球面は、両凹負レンズの像側の面である。

第2レンズ群G2は、全体で正のパワーを有している。この第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凸正レンズと、両凸正レンズと両凹負レンズとの接合レンズと構成されている。そして、非球面は、両凸正レンズの物体側の面、接合レンズの最も物体側の面である。

第3レンズ群G3は、正のパワーを有している。この第3レンズ群G3は、像側に凹面を向けた正メニスカスレンズで構成されている。そして、非球面は、正メニスカスレンズの像側の面である。

第4レンズ群G4は、正のパワーを有している。この第4レンズ群G4は、像側に凸面を向けた平凸正レンズで構成されている。そして、非球面は、平凸正レンズの像側の面である。

本実施例に係る変倍光学系を構成する全レンズは、第2レンズ群G2の両凹負レンズを除き、一体レンズである。この一体レンズは、図1に示す方法で製造されたものである。

一体化レンズ10の例を図44に示す。この一体化レンズ10は、本実施例に係る変倍光学系に用いられる。図44は、第2レンズ群G2の接合レンズの断面図である。このレンズは、物体側の両凸正レンズを一体化レンズ10としている。そして、その像側に両凹負レンズを接合している。第2の素材12の厚さは0.35mmである。このとき、図44に示していないが、第2の素材12に穴や凹凸形状を成形の際に同時に加工するようにしてもよい。

実施例6-2の変倍光学系を、図39に示す。実施例6-2の変倍光学系は、物体側から順に、第1レンズ群G1と、開口絞りSと、第2レンズ群G2と、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とで構成されている。そして、広角端から望遠端に変倍する際は、第1レンズ群G1は物体側に凹の軌跡を描いて移動し、望遠端では広角端と略同じ位置に位置する。また、第2レンズ群G2は、開口絞りSと一緒に物体側へ移動する。第3レンズ群G3は、第2レンズ群G2との間隔を広げながら物体側へ移動する。第4レンズ群G4は物体側に凸の軌跡を描いて移動し、望遠端では広角端より像側に位置する。

第1レンズ群G1は、全体で負のパワーを有している。この第1レンズ群G1は、物体側から順に、像側に凹面を向けた平凹負レンズと、像側に凹面を向けた正メニスカスレンズとで構成されている。そして、非球面は、平凹負レンズの像側の面である。

第2レンズ群G2は、全体で正のパワーを有している。この第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凸正レンズと、両凸正レンズと両凹負レンズとの接合レンズとで構成されている。そして、非球面は、物体側の両凸正レンズの物体側の面と、接合レンズの最も物体側の面である。

第3レンズ群G3は、正のパワーを有している。この第3レンズ群G3は、像側に凹面を向けた正メニスカスレンズで構成されている。そして、非球面は、正メニスカスレンズの像側の面である。

第4レンズ群G4は、正のパワーを有している。この第4レンズ群G4は、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズで構成されている。そして、非球面は、正メニスカスレンズの像側の面である。

本実施例に係る変倍光学系を構成する全てのレンズは一体レンズである。この一体レンズは、図3に示す方法で製造されたものである。

一体化レンズ10の例を図45に示す。この一体化レンズ10は、本実施例に係る変倍光学系に用いられる。図45は、第1レンズ群G1の正メニスカスレンズの断面図である。このレンズは、正メニスカスレンズを一体化レンズ10としている。第2の素材12の厚さは0.5mmである。このとき、図45に示してはいるが、第2の素材12に穴や凹凸形状を成形の際に同時に加工するようにしてもよい(図3参照)。

実施例6-3の変倍光学系を、図40に示す。実施例6-3の変倍光学系は、物体側から順に、第1レンズ群G1と、開口絞りSと、第2レンズ群G2と、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とで構成されている。そして、広角端から望遠端に変倍する際は、第1レンズ群G1は物体側に凹の軌跡を描いて移動し、望遠端では広角端と略同じ位置に位置する。また、第2レンズ群G2は、開口絞りSと一緒に物体側へ移動する。第3レンズ群G3は、物体側に凹の軌跡を描いて移動し、望遠端では広角端より物体側に位置する。第4レンズ群G4は固定である。

第1レンズ群G1は、全体で負のパワーを有している。この第1レンズ群G1は、物体側から順に、両凹負レンズと、像側に凹面を向けた正メニスカスレンズとで構成されている。そして、非球面は、両凹負レンズの像側の面である。

第2レンズ群G2は、全体で正のパワーを有している。この第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凸正レンズと、両凸正レンズと両凹負レンズとの接合レンズとで構成されている。そして、非球面は、物体側の両凸正レンズの物体側の面と、接合レンズの最も物体側の面である。

第3レンズ群G3は、正のパワーを有している。この第3レンズ群G3は、像側に凹面を向けた正メニスカスレンズで構成されている。そして、非球面は、正メニスカスレンズの像側の面である。

第4レンズ群G4は、正のパワーを有している。この第4レンズ群G4は、像側に凹面を向けた正メニスカスレンズで構成されている。そして、非球面は、正メニスカスレンズの像側の面である。

本実施例に係る変倍光学系を構成する全レンズは、第2レンズ群G2の両凹負レンズを除き、一体レンズである。この一体レンズは、図5に示す方法で製造されたものである。

一体化レンズ10の例を図46に示す。この一体化レンズ10は、本実施例に係る変倍光学系に用いられる。図46は、第2レンズ群G2の接合レンズの断面図である。このレンズは、物体側の両凸正レンズを一体化レンズ10としている。そして、その像側に両凹

負レンズを接合している。第2の素材12の厚さは0.3mmである。このとき、図46に示していないが、第2の素材12に穴や凹凸形状を成形の際に同時に加工するようにしてもよい(図3参照)。

上記各実施例の数値データは後で示す。

(7) 第1群が正レンズ群、第2群が負レンズ群、第3群が正レンズ群、第4群が正レンズ群。

第7の変倍光学系(ズームレンズ)の実施例7-1～実施例7-3について、図面を参照して説明する。実施例7-1～7-3の無限遠物点合焦時の広角端(a)、中間状態(b)、望遠端(c)の光軸に沿うレンズ断面図をそれぞれ図47～図49に示す。また、実施例7-1～7-3の無限遠物点合焦時の広角端(a)、中間状態(b)、望遠端(c)の球面収差、非点収差、倍率色(収差)、歪曲収差の収差図をそれぞれ図50～図52に示す。

実施例7-1の変倍光学系を、図47に示す。実施例7-1の変倍光学系は、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とで構成されている。そして、広角端から望遠端に変倍する際は、第1レンズ群G1は固定であり、第2レンズ群G2は像側へ移動し、開口絞りSは物体側へ移動し、第3レンズ群G3と第4レンズ群G4は何れも物体側へ移動する。このとき、第3レンズ群G3と第4レンズ群G4は、間隔を広げながら移動する。

第1レンズ群G1は、全体で正のパワーを有している。この第1レンズ群G1は、両凸正レンズで構成されている。また、非球面は、両凸正レンズの物体側の面である。

第2レンズ群G2は、全体で負のパワーを有している。この第2レンズ群G2は、両凹負レンズと像側に凹面を向けた正メニスカスレンズとの接合レンズで構成されている。そして、非球面は、接合レンズの最も物体側の面である。

第3レンズ群G3は、正のパワーを有している。この第3レンズ群G3は、物体側から順に、両凸正レンズと両凹負レンズとで構成されている。非球面は、両凸正レンズの物体側の面と、両凹負レンズの像側の面である。

第4レンズ群G4は、正のパワーを有している。この第4レンズ群G4は、両凸正レンズで構成されている。非球面は、両凸正レンズの物体側の面である。

本実施例に係る変倍光学系を構成する全てのレンズは一体レンズである。この一体レン

ズは、図1に示す方法で製造されたものである。

本実施例での一体化レンズ10の例を図53に示す。図53は、第4レンズ群G4の両凸正レンズを一体化レンズとしたものの断面図である。第2の素材12の厚さは0.4mmである。このとき、図53に示してはいるが、第2の素材12に穴や凹凸形状を成形の際に同時に加工するようにしてもよい。

実施例7-2の変倍光学系を、図48に示す。実施例7-2の変倍光学系は、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とで構成されている。そして、広角端から望遠端に変倍する際は、第1レンズ群G1は固定であり、第2レンズ群G2は像側へ移動し、開口絞りSは物体側へ移動し、第3レンズ群G3と第4レンズ群G4は何れも物体側へ移動する。このとき、第3レンズ群G3と第4レンズ群G4は、間隔を広げながら移動する。

第1レンズ群G1は、全体で正のパワーを有している。この第1レンズ群G1は、両凸正レンズで構成されている。また、非球面は、両凸正レンズの物体側の面である。

第2レンズ群G2は、全体で負のパワーを有している。この第2レンズ群G2は、両凹負レンズと像側に凹面を向けた正メニスカスレンズで構成されている。そして、非球面は、両凹負レンズの物体側の面である。

第3レンズ群G3は、正のパワーを有している。この第3レンズ群G3は、物体側から順に、両凸正レンズと両凹負レンズとで構成されている。非球面は、両凸正レンズの物体側の面と、両凹負レンズの像側の面である。

第4レンズ群G4は、正のパワーを有している。この第4レンズ群G4は、像側に凹面を向けた正メニスカスレンズで構成されている。非球面は、正メニスカスレンズの物体側の面である。

本実施例に係る変倍光学系を構成する全てのレンズは一体レンズである。この一体レンズは、図3に示す方法で製造されたものである。

本実施例での一体化レンズ10の例を図54、図55に示す。図54は、第2レンズ群G2の正メニスカスレンズを一体化レンズ10を一体化レンズとしたものの断面図である。第2の素材12の厚さは0.4mmである。また、図55は、第3レンズ群G3の両凹負レンズを一体化レンズとしたものの断面図である。第2の素材12の厚さは1.2mmである。このとき、図54及び図55に示してはいるが、第2の素材12に穴や凹凸形状を成形の際に同時に加工するようにしてもよい(図3参照)。

実施例 7-3 の変倍光学系を、図 4 9 に示す。実施例 7-3 の変倍光学系は、物体側から順に、第 1 レンズ群 G1 と、第 2 レンズ群 G2 と、開口絞り S と、第 3 レンズ群 G3 と、第 4 レンズ群 G4 とで構成されている。そして、広角端から望遠端に変倍する際は、第 1 レンズ群 G1 は固定であり、第 2 レンズ群 G2 は像側へ移動し、開口絞り S は固定であり、第 3 レンズ群 G3 物体側へ移動し、第 4 レンズ群 G4 は物体側に凸の軌跡を描いて移動する。なお、第 4 レンズ群 G4 は、望遠端では広角端より像側に位置する。

第 1 レンズ群 G1 は、全体で正のパワーを有している。この第 1 レンズ群 G1 は、両凸正レンズで構成されている。非球面は、両凸正レンズの物体側の面である。

第 2 レンズ群 G2 は、全体で負のパワーを有している。この第 2 レンズ群 G2 は、物体側から順に、両凹負レンズと、像側に凹面を向けた正メニスカスレンズとで構成されている。非球面は、両凹負レンズの物体側の面である。

第 3 レンズ群 G3 は、正のパワーを有している。この第 3 レンズ群 G3 は、物体側から順に、両凸正レンズと、両凹負レンズとで構成されている。非球面は、両凸正レンズの物体側の面と、両凹負レンズの像側の面である。

第 4 レンズ群 G4 は、正のパワーを有している。この第 4 レンズ群 G4 は、像側に凹面を向けたメニスカスレンズで構成されている。非球面は、正メニスカスレンズの物体側の面である。

本実施例に係る変倍光学系を構成する全てのレンズは一体レンズである。この一体レンズは、図 5 に示す方法で製造されたものである。

本実施例での一体化レンズ 10 の例を図 5 6 に示す。図 5 6 は、第 4 レンズ群 G4 の正メニスカスレンズを一体化レンズとしたものの断面図である。第 2 の素材 1 2 の厚さは 0.3 mm である。このとき、図 5 6 に示してはないが、第 2 の素材 1 2 に穴や凹凸形状を成形の際に同時に加工するようにしてもよい。（図 3 参照）。

以下に、上記各実施例の数値データを示すが、記号は上記の外、 f は全系焦点距離、 F_{no} は F ナンバー、 ω は半画角、WE は広角端、ST は中間状態、TE は望遠端、 r_1 、 r_2 … は各レンズ面の曲率半径、 d_1 、 d_2 … は各レンズ面間の間隔、 n_{d1} 、 n_{d2} … は各レンズの d 線の屈折率、 ν_{d1} 、 ν_{d2} … は各レンズのアッペ数である。なお、非球面形状は、 x を光の進行方向を正とした光軸とし、 y を光軸と直交する方向にとると、下記の式にて表される。

$$x = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (K+1) (y/r)^2\}^{1/2}]$$

$$+ A_4 y^4 + A_6 y^6 + A_8 y^8 + A_{10} y^{10}$$

ただし、rは近軸曲率半径、Kは円錐係数、 A_4 、 A_6 、 A_8 、 A_{10} はそれぞれ4次、6次、8次、10次の非球面係数である。

実施例 1-1

$r_1 = -41.781$ (非球面)	$d_1 = 0.60$	$n_{d1} = 1.80610$ $\nu_{d1} = 40.92$
$r_2 = 3.177$ (非球面)	$d_2 = 0.66$	
$r_3 = 6.332$	$d_3 = 0.62$	$n_{d2} = 1.84666$ $\nu_{d2} = 23.78$
$r_4 = 24.596$	$d_4 =$ (可変)	
$r_5 = \infty$ (絞り)	$d_5 = 0.10$	
$r_6 = 2.662$ (非球面)	$d_6 = 0.95$	$n_{d3} = 1.51633$ $\nu_{d3} = 64.14$
$r_7 = -6.827$	$d_7 = 0.10$	
$r_8 = 9.099$	$d_8 = 0.86$	$n_{d4} = 1.80610$ $\nu_{d4} = 40.92$
$r_9 = -2.887$	$d_9 = 0.61$	$n_{d5} = 1.68893$ $\nu_{d5} = 31.07$
$r_{10} = 3.039$ (非球面)	$d_{10} =$ (可変)	
$r_{11} = \infty$	$d_{11} = 0.50$	$n_{d6} = 1.51633$ $\nu_{d6} = 64.14$
$r_{12} = \infty$		

非球面係数

第1面

$$K = 298.089$$

$$A_4 = -1.32975 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 2.40059 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = -1.12956 \times 10^{-4}$$

$$A_{10} = 0$$

第2面

$$K = -6.673$$

$$A_4 = 7.26462 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = -2.67280 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 1.15842 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -1.24655 \times 10^{-4}$$

第6面

$$K = -1.680$$

$$A_4 = 3.59073 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = -9.37097 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = 1.54936 \times 10^{-4}$$

$$A_{10} = -3.54681 \times 10^{-5}$$

第10面

$$K = 1.840$$

$$A_4 = 6.69764 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = 0$$

$$A_8 = 0$$

$$A_{10} = 0$$

ズームデータ (∞)

	WE	ST	TE
f (mm)	4.4	6.23	8.78
F _{no}	2.8	3.3	4.1
ω (°)	33.2	22.5	15.9
d ₄	3.16	1.38	0.14
d ₁₀	4.24	5.47	7.26

実施例1-2

r ₁ = -20.127 (非球面)	d ₁ = 0.60	n _{d1} = 1.67790	v _{d1} = 55.34
r ₂ = 2.853	d ₂ = 1.23		
r ₃ = 4.097	d ₃ = 0.72	n _{d2} = 1.84666	v _{d2} = 23.78
r ₄ = 5.809	d ₄ = (可変)		
r ₅ = ∞ (絞り)	d ₅ = 0.10		
r ₆ = 2.549 (非球面)	d ₆ = 0.84	n _{d3} = 1.69350	v _{d3} = 53.21
r ₇ = -3.172	d ₇ = 0.60	1.80518	25.42
r ₈ = -9.327	d ₈ = 1.04	n _{d4} =	v _{d4} =

$r_9 = -3.278$ $d_9 = 0.60$ $n_{d5} = 1.81474$ $\nu_{d5} = 37.03$
 $r_{10} = -7.604$ (非球面) $d_{10} =$ (可変)
 $r_{11} = \infty$ $d_{11} = 0.50$ $n_{d6} = 1.51633$ $\nu_{d6} = 64.14$
 $r_{12} = \infty$

非球面係数

第1面

 $K = -228.497$ $A_4 = -1.41365 \times 10^{-3}$ $A_6 = 1.48862 \times 10^{-4}$ $A_8 = -4.35387 \times 10^{-6}$ $A_{10} = 0$

第6面

 $K = -0.176$ $A_4 = -4.34973 \times 10^{-4}$ $A_6 = 1.10461 \times 10^{-4}$ $A_8 = 2.52554 \times 10^{-4}$ $A_{10} = -1.39801 \times 10^{-4}$

第10面

 $K = -7.497$ $A_4 = 1.45179 \times 10^{-2}$ $A_6 = 7.85336 \times 10^{-4}$ $A_8 = 2.70499 \times 10^{-3}$ $A_{10} = -5.60770$ ズームデータ (∞)

	WE	ST	TE
f (mm)	3.0	5.2	9.0
F_{no}	3.5	4.5	6.3
ω (°)	50.4	26.7	15.6
d_4	5.05	1.96	0.19
d_{10}	3.06	4.82	7.93

実施例 2-1

$r_1 = \infty$ (絞り)	$d_1 = 0.55$	
$r_2 = -2.158$ (非球面)	$d_2 = 0.69$	$n_{d1} = 1.49700 \nu_{d1} = 81.54$
$r_3 = -2.071$ (非球面)	$d_3 = 0.10$	
$r_4 = 10.989$	$d_4 = 0.60$	$n_{d2} = 1.84666 \nu_{d2} = 23.78$
$r_5 = 4.313$	$d_5 = 0.12$	
$r_6 = 4.932$	$d_6 = 1.16$	$n_{d3} = 1.51633 \nu_{d3} = 64.14$
$r_7 = -2.401$ (非球面)	$d_7 =$ (可変)	
$r_8 = -6.483$	$d_8 = 0.62$	$n_{d4} = 1.84666 \nu_{d4} = 23.78$
$r_9 = -3.958$	$d_9 = 0.79$	
$r_{10} = -2.597$ (非球面)	$d_{10} = 0.60$	$n_{d5} = 1.80610 \nu_{d5} = 40.92$
$r_{11} = 61.065$	$d_{11} =$ (可変)	
$r_{12} = \infty$	$d_{12} = 0.50$	$n_{d6} = 1.51633 \nu_{d6} = 64.14$
$r_{13} = \infty$		

非球面係数

第2面

$$K = 0.000$$

$$A_4 = -2.84390 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 9.11709 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 7.00659 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = 0$$

第3面

$$K = -0.894$$

$$A_4 = -6.81547 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = 5.63263 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 5.81608 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = 0$$

第7面

$$K = -0.359$$

$$A_4 = -4.65568 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = -1.56716 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 1.86252 \times 10^{-4}$$

$$A_{10} = -7.14500 \times 10^{-5}$$

第10面

$$K = -4.566$$

$$A_4 = -2.78392 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 4.86515 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = -5.40423 \times 10^{-4}$$

$$A_{10} = 0$$

ズームデータ (∞)

	WE	ST	TE
f (mm)	5.5	7.8	10.9
F _{NO}	2.8	4.0	5.5
ω (°)	25.3	18.0	13.0
d ₇	1.71	0.76	0.10
d ₁₁	0.49	3.03	6.62

実施例2-2

$$r_1 = \infty \text{ (絞り)}$$

$$d_1 = 0.61$$

$$r_2 = -2.480 \text{ (非球面)}$$

$$d_2 = 0.60$$

$$n_{d1} = 1.49700 \nu_{d1} = 81.54$$

$$r_3 = -2.820 \text{ (非球面)}$$

$$d_3 = 0.63$$

$$r_4 = 8.606$$

$$d_4 = 0.60$$

$$n_{d2} = 1.68893 \nu_{d2} = 31.07$$

$$r_5 = 2.625$$

$$d_5 = 1.24$$

$$n_{d3} = 1.58913 \nu_{d3} = 61.14$$

$$r_6 = -2.953 \text{ (非球面)}$$

$$d_6 = \text{(可変)}$$

$$r_7 = -7.436$$

$$d_7 = 0.63$$

$$n_{d4} = 1.84666 \nu_{d4} = 23.78$$

$$r_8 = -4.115$$

$$d_8 = 0.73$$

$$r_9 = -2.736 \text{ (非球面)}$$

$$d_9 = 0.60$$

$$n_{d5} = 1.80610 \nu_{d5} = 40.92$$

$$r_{10} = 26.678$$

$$d_{10} = \text{(可変)}$$

$$r_{11} = \infty$$

$$d_{11} = 0.50$$

$$n_{d6} = 1.51633 \nu_{d6} = 64.14$$

$r_{12} = \infty$

非球面係数

第2面

$K = 0.000$

$A_4 = -5.18890 \times 10^{-3}$

$A_6 = 6.43068 \times 10^{-3}$

$A_8 = 2.08572 \times 10^{-3}$

$A_{10} = 0$

第3面

$K = -1.389$

$A_4 = -3.33499 \times 10^{-4}$

$A_6 = 5.27759 \times 10^{-3}$

$A_8 = 2.05797 \times 10^{-3}$

$A_{10} = 0$

第6面

$K = -0.816$

$A_4 = -2.04253 \times 10^{-3}$

$A_6 = -1.18792 \times 10^{-3}$

$A_8 = 3.09456 \times 10^{-4}$

$A_{10} = -7.24211 \times 10^{-5}$

第9面

$K = -3.385$

$A_4 = -1.65664 \times 10^{-2}$

$A_6 = 1.45807 \times 10^{-3}$

$A_8 = -8.20014 \times 10^{-5}$

$A_{10} = 0$

ズームデータ (∞)

	WE	ST	TE
f (mm)	5.5	7.78	10.96
F_{no}	2.8	4.0	5.6

ω (°)	25.2	18.0	12.9
d_6	1.82	0.81	0.10
d_{10}	0.39	2.92	6.55

実施例3-1

$r_1 = 12.646$	$d_1 = 0.60$	$n_{d1} = 1.69350$	$\nu_{d1} = 53.21$
$r_2 = 3.067$ (非球面)	$d_2 = 1.08$		
$r_3 = 4.805$	$d_3 = 0.75$	$n_{d2} = 1.84666$	$\nu_{d2} = 23.78$
$r_4 = 7.074$	$d_4 =$ (可変)		
$r_5 = \infty$ (絞り)	$d_5 = 0.10$		
$r_6 = 3.743$ (非球面)	$d_6 = 0.80$	$n_{d3} = 1.67790$	$\nu_{d3} = 55.34$
$r_7 = -15.671$	$d_7 = 0.89$		
$r_8 = -5.791$	$d_8 = 0.60$	$n_{d4} = 1.76182$	$\nu_{d4} = 26.52$
$r_9 = 4.399$	$d_9 = 0.39$		
$r_{10} = 14.092$	$d_{10} = 0.96$	$n_{d5} = 1.78590$	$\nu_{d5} = 44.20$
$r_{11} = -4.706$	$d_{11} =$ (可変)		
$r_{12} = 5.551$ (非球面)	$d_{12} = 0.80$	$n_{d6} = 1.78800$	$\nu_{d6} = 47.37$
$r_{13} = 6.983$	$d_{13} =$ (可変)		
$r_{14} = \infty$	$d_{14} = 0.50$	$n_{d7} = 1.51633$	$\nu_{d7} = 64.14$
$r_{15} = \infty$			

非球面係数

第2面

$$K = -1.200$$

$$A_4 = 3.55109 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = 2.56305 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = -2.33716 \times 10^{-5}$$

$$A_{10} = 2.07830 \times 10^{-6}$$

第6面

$$K = -0.728$$

$$K = 7.03429 \times 10^{-4}$$

$$A_4 = -1.42131 \times 10^{-5}$$

$$A_6 = 5.98131 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = -1.12393 \times 10^{-5}$$

A_{10} 2面

$$K = -3.851$$

$$A_4 = 1.74180 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = 8.82987 \times 10^{-6}$$

$$A_8 = 0$$

$$A_{10} = 0$$

ズームデータ (∞)

	WE	ST	TE
f (mm)	4.4	6.2	8.8
F_{No}	2.8	3.2	4.0
ω (°)	30.8	22.3	15.7
d_4	4.77	1.78	0.22
d_{11}	0.10	2.61	8.22
d_{13}	4.13	3.49	0.56

実施例3-2

$r_1 = -6.951$ (非球面)	$d_1 = 0.60$	$n_{d1} = 1.67790$ $\nu_{d1} = 55.34$
$r_2 = 6.574$	$d_2 = 0.64$	$n_{d2} = 1.84666$ $\nu_{d2} = 23.78$
$r_3 = 15.485$	$d_3 =$ (可変)	
$r_4 = \infty$ (絞り)	$d_4 = 0.10$	
$r_5 = 4.706$ (非球面)	$d_5 = 0.69$	$n_{d3} = 1.69350$ $\nu_{d3} = 53.21$
$r_6 = -6.848$	$d_6 = 0.17$	
$r_7 = 6.792$	$d_7 = 0.92$	$n_{d4} = 1.80610$ $\nu_{d4} = 40.92$
$r_8 = -2.029$	$d_8 = 0.60$	$n_{d5} = 1.68893$ $\nu_{d5} = 31.07$
$r_9 = 2.447$	$d_9 =$ (可変)	
$r_{10} = -5.488$	$d_{10} = 0.77$	$n_{d6} = 1.68893$ $\nu_{d6} = 31.07$
$r_{11} = -3.434$ (非球面)	$d_{11} = 1.78$	

$r_{12} = \infty$ $d_{12} = 0.50$ $n_{d7} = 1.51633$ $\nu_{d7} = 64.14$

$r_{13} = \infty$

非球面係数

第1面

$K = -4.615$

$A_4 = -1.30227 \times 10^{-3}$

$A_6 = 0$

$A_8 = 0$

$A_{10} = 0$

第5面

$K = -3.406$

$A_4 = -3.94764 \times 10^{-3}$

$A_6 = -7.90797 \times 10^{-4}$

$A_8 = 2.03424 \times 10^{-4}$

$A_{10} = -1.31727 \times 10^{-4}$

第11面

$K = -0.035$

$A_4 = 3.45595 \times 10^{-3}$

$A_6 = 0$

$A_8 = 0$

$A_{10} = 0$

ズームデータ (∞)

	WE	ST	TE
f (mm)	4.4	6.2	8.8
F_{NO}	2.8	3.3	4.1
ω (°)	32.9	21.8	15.4
d_3	3.26	1.43	0.14
d_9	1.88	3.18	4.99

実施例 4-1

$r_1 = -8.544$	$d_1 = 0.60$	$n_{d1} = 1.69350$	$\nu_{d1} = 53.21$
$r_2 = 5.795$ (非球面)	$d_2 = 0.44$		
$r_3 = 7.279$	$d_3 = 0.67$	$n_{d2} = 1.84666$	$\nu_{d2} = 23.78$
$r_4 = 19.919$	$d_4 =$ (可変)		
$r_5 = \infty$ (絞り)	$d_5 = 0.10$		
$r_6 = 3.655$ (非球面)	$d_6 = 1.38$	$n_{d3} = 1.69350$	$\nu_{d3} = 53.21$
$r_7 = -14.166$	$d_7 = 0.10$		
$r_8 = 9.263$ (非球面)	$d_8 = 0.99$	$n_{d4} = 1.78800$	$\nu_{d4} = 47.37$
$r_9 = -2.793$	$d_9 = 0.60$	$n_{d5} = 1.68893$	$\nu_{d5} = 31.07$
$r_{10} = 3.038$	$d_{10} =$ (可変)		
$r_{11} = 44.064$	$d_{11} = 1.60$	$n_{d6} = 1.78800$	$\nu_{d6} = 47.37$
$r_{12} = -4.323$	$d_{12} = 0.16$		
$r_{13} = -3.912$	$d_{13} = 1.60$	$n_{d7} = 1.51633$	$\nu_{d7} = 64.14$
$r_{14} = -18.192$ (非球面)	$d_{14} = 0.10$		
$r_{15} = \infty$	$d_{15} = 0.50$	$n_{d8} = 1.51633$	$\nu_{d8} = 64.14$
$r_{16} = \infty$			

非球面係数

第2面

$$K = -0.856$$

$$A_4 = -5.31098 \times 10^{-4}$$

$$A_6 = 2.90922 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = -6.35097 \times 10^{-5}$$

$$A_{10} = 5.38366 \times 10^{-6}$$

第6面

$$K = 0.057$$

$$A_4 = -2.33967 \times 10^{-4}$$

$$A_6 = 6.09317 \times 10^{-6}$$

$$A_8 = 8.12573 \times 10^{-5}$$

$$A_{10} = -1.66984 \times 10^{-5}$$

第8面

$K = -33.940$

$A_4 = -1.48982 \times 10^{-3}$

$A_6 = -1.35589 \times 10^{-3}$

$A_8 = 0$

$A_{10} = 0$

第14面

$K = 0.000$

$A_4 = 7.17227 \times 10^{-3}$

$A_6 = -6.23670 \times 10^{-4}$

$A_8 = 0$

$A_{10} = 0$

ズームデータ (∞)

	WE	ST	TE
f (mm)	4.4	6.2	8.8
F_{No}	2.8	3.3	4.1
ω (°)	33.1	22.1	15.6
d_4	3.63	1.58	0.14
d_{10}	2.14	3.59	5.65

実施例4-2

$r_1 = -6.328$	$d_1 = 0.60$	$n_{d1} = 1.69350 \nu_{d1} = 53.21$
$r_2 = 3.092$	$d_2 = 1.03$	$n_{d2} = 1.81474 \nu_{d2} = 37.03$
$r_3 = 11.872$	$d_3 = (\text{可変})$	
$r_4 = 3.024$ (非球面)	$d_4 = 1.08$	$n_{d3} = 1.69350 \nu_{d3} = 53.21$
$r_5 = 36.382$	$d_5 = 0.12$	
$r_6 = \infty$ (絞り)	$d_6 = 0.10$	
$r_7 = 4.427$ (非球面)	$d_7 = 0.99$	$n_{d4} = 1.78800 \nu_{d4} = 47.37$
$r_8 = -7.290$	$d_8 = 1.20$	$n_{d5} = 1.84666 \nu_{d5} = 23.78$
$r_9 = 3.680$ (非球面)	$d_9 = (\text{可変})$	
$r_{10} = -7.523$	$d_{10} = 1.20$	$n_{d6} = 1.80610 \nu_{d6} = 40.92$

$r_{11} = -2.849$	$d_{11} = 0.16$	
$r_{12} = -2.632$	$d_{12} = 1.16$	$n_{d7} = 1.49700 \nu_{d7} = 81.54$
$r_{13} = -6.396$ (非球面)	$d_{13} = 0.79$	
$r_{14} = \infty$	$d_{14} = 0.50$	$n_{d8} = 1.51633 \nu_{d8} = 64.14$
$r_{15} = \infty$	d_{15}	

非球面係数

第4面

$$K = 0.396$$

$$A_4 = 2.09373 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = -1.62524 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = 2.20952 \times 10^{-4}$$

$$A_{10} = -2.31731 \times 10^{-5}$$

第7面

$$K = -8.236$$

$$A_4 = 1.60630 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = -3.38827 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = -3.72604 \times 10^{-4}$$

$$A_{10} = 0$$

第9面

$$K = 0.344$$

$$A_4 = 8.07095 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = -7.93864 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = 0$$

$$A_{10} = 0$$

第13面

$$K = 0.000$$

$$A_4 = 3.88351 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = -5.71375 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = 0$$

$$A_{10} = 0$$

ズームデータ (∞)

	WE	ST	TE
f (mm)	4.4	6.2	8.8
F_{no}	2.8	3.4	4.3
ω (°)	33.5	22.2	15.8
d_3	2.76	1.21	0.10
d_9	0.65	1.78	3.33

実施例 5-1

$r_1 = -15.253$ (非球面)	$d_1 = 0.60$	$n_{d1} = 1.69350$ $\nu_{d1} = 53.21$
$r_2 = 4.141$	$d_2 = 0.96$	$n_{d2} = 1.68893$ $\nu_{d2} = 31.07$
$r_3 = 12.214$ (非球面)	$d_3 =$ (可変)	
$r_4 = \infty$ (絞り)	$d_4 = 0.10$	
$r_5 = 9.919$ (非球面)	$d_5 = 0.68$	$n_{d3} = 1.49700$ $\nu_{d3} = 81.54$
$r_6 = -11.002$	$d_6 = 0.10$	
$r_7 = 3.141$ (非球面)	$d_7 = 1.33$	$n_{d4} = 1.74320$ $\nu_{d4} = 49.34$
$r_8 = -6.830$	$d_8 = 0.62$	$n_{d5} = 1.68893$ $\nu_{d5} = 31.07$
$r_9 = 3.671$ (非球面)	$d_9 =$ (可変)	
$r_{10} = 11.080$	$d_{10} = 1.06$	$n_{d6} = 1.68893$ $\nu_{d6} = 31.07$
$r_{11} = 3.943$ (非球面)	$d_{11} =$ (可変)	
$r_{12} = -13.947$	$d_{12} = 1.11$	$n_{d7} = 1.68893$ $\nu_{d7} = 31.07$
$r_{13} = -4.584$ (非球面)	$d_{13} = 1.69$	
$r_{14} = \infty$	$d_{14} = 0.50$	$n_{d8} = 1.51633$ $\nu_{d8} = 64.14$
$r_{15} = \infty$		

非球面係数

第1面

$$K = 19.399$$

$$A_4 = -9.52491 \times 10^{-4}$$

$$A_6 = 4.99000 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = 1.01862 \times 10^{-5}$$

$A_{10} = 0$

第3面

 $K = -14.812$ $A_4 = -8.97149 \times 10^{-4}$ $A_6 = 4.01691 \times 10^{-6}$ $A_8 = 1.68687 \times 10^{-5}$ $A_{10} = 0$

第5面

 $K = 19.348$ $A_4 = -4.82828 \times 10^{-3}$ $A_6 = 8.06209 \times 10^{-4}$ $A_8 = -1.99532 \times 10^{-4}$ $A_{10} = 0$

第7面

 $K = -1.011$ $A_4 = 7.47480 \times 10^{-3}$ $A_6 = -2.60867 \times 10^{-4}$ $A_8 = 8.69323 \times 10^{-5}$ $A_{10} = 0$

第9面

 $K = -9.730$ $A_4 = 3.91180 \times 10^{-2}$ $A_6 = -4.30584 \times 10^{-3}$ $A_8 = 1.54137 \times 10^{-3}$ $A_{10} = 0$

第11面

 $K = -5.280$ $A_4 = 1.20789 \times 10^{-2}$ $A_6 = -8.05017 \times 10^{-4}$ $A_8 = 1.88007 \times 10^{-6}$

$A_{10} = 0$

第13面

$K = -1.512$

$A_4 = 1.20543 \times 10^{-4}$

$A_6 = -1.73187 \times 10^{-4}$

$A_8 = 5.42052 \times 10^{-6}$

$A_{10} = 0$

ズームデータ (∞)

	WE	ST	TE
f (mm)	4.7	7.6	13.0
F_{no}	2.8	3.8	5.1
ω (°)	30.3	18.1	10.7
d_3	5.47	2.88	0.18
d_9	0.74	0.35	1.39
d_{11}	0.74	3.72	5.38

実施例 5-2

$r_1 = -8.395$ (非球面)	$d_1 = 0.60$	$n_{d1} = 1.67790$ $\nu_{d1} = 55.34$
$r_2 = 4.439$	$d_2 = 0.98$	$n_{d2} = 1.68893$ $\nu_{d2} = 31.07$
$r_3 = 21.458$ (非球面)	$d_3 =$ (可変)	
$r_4 = \infty$ (絞り)	$d_4 = 0.08$	
$r_5 = 13.194$ (非球面)	$d_5 = 0.65$	$n_{d3} = 1.49700$ $\nu_{d3} = 81.54$
$r_6 = -10.912$	$d_6 = 0.19$	
$r_7 = 2.999$ (非球面)	$d_7 = 1.34$	$n_{d4} = 1.74320$ $\nu_{d4} = 49.34$
$r_8 = -5.935$	$d_8 = 0.60$	$n_{d5} = 1.68893$ $\nu_{d5} = 31.07$
$r_9 = 3.541$ (非球面)	$d_9 =$ (可変)	
$r_{10} = -54.527$	$d_{10} = 0.60$	$n_{d6} = 1.68893$ $\nu_{d6} = 31.07$
$r_{11} = 6.260$ (非球面)	$d_{11} =$ (可変)	
$r_{12} = 30.988$	$d_{12} = 1.48$	$n_{d7} = 1.68893$ $\nu_{d7} = 31.07$
$r_{13} = -5.446$ (非球面)	$d_{13} = 1.00$	

$r_{14} = \infty$ $d_{14} = 0.50$ $n_{d8} = 1.51633$ $\nu_{d8} = 64.14$

$r_{15} = \infty$

非球面係数

第1面

$K = 0.576$

$A_4 = -6.63222 \times 10^{-4}$

$A_6 = 5.19142 \times 10^{-5}$

$A_8 = 3.41858 \times 10^{-6}$

$A_{10} = 0$

第3面

$K = -31.443$

$A_4 = -4.24448 \times 10^{-4}$

$A_6 = -2.32455 \times 10^{-7}$

$A_8 = 1.82275 \times 10^{-5}$

$A_{10} = 0$

第5面

$K = 32.850$

$A_4 = -2.19377 \times 10^{-3}$

$A_6 = -7.72833 \times 10^{-5}$

$A_8 = 7.53132 \times 10^{-6}$

$A_{10} = 0$

第7面

$K = -1.055$

$A_4 = 7.33888 \times 10^{-3}$

$A_6 = 4.41996 \times 10^{-4}$

$A_8 = -1.81717 \times 10^{-5}$

$A_{10} = 0$

第9面

$K = -10.179$

$A_4 = 4.50999 \times 10^{-2}$

$$A_6 = -4.61578 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 1.84744 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = 0$$

第1 1面

$$K = -24.461$$

$$A_4 = 1.24411 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -2.06313 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 1.94143 \times 10^{-4}$$

$$A_{10} = 0$$

第1 3面

$$K = -11.947$$

$$A_4 = -4.12632 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = 2.43311 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = -7.32948 \times 10^{-6}$$

$$A_{10} = 0$$

ズームデータ (∞)

	WE	ST	TE
f (mm)	4.7	7.6	13.0
F _{NO}	2.8	3.8	5.0
ω (°)	31.6	18.2	10.6
d ₃	6.04	3.32	0.55
d ₉	1.34	1.32	2.66
d ₁₁	1.76	4.49	5.93

実施例 6-1

$$r_1 = -235.855 \quad d_1 = 0.60 \quad n_{d1} = 1.69350 \quad \nu_{d1} = 53.21$$

$$r_2 = 3.549 \text{ (非球面)} \quad d_2 = 1.59$$

$$r_3 = 6.625 \quad d_3 = 0.91 \quad n_{d2} = 1.84666 \quad \nu_{d2} = 23.78$$

$$r_4 = 12.436 \quad d_4 = \text{(可変)}$$

$$r_5 = \infty \text{ (絞り)} \quad d_5 = 0.10$$

$r_6 = 3.797$	(非球面)	$d_6 = 1.06$	$n_{d3} = 1.69350$	$\nu_{d3} = 53.21$
$r_7 = -17.794$		$d_7 = 0.10$		
$r_8 = 7.931$	(非球面)	$d_8 = 0.78$	$n_{d4} = 1.78800$	$\nu_{d4} = 47.37$
$r_9 = -4.713$		$d_9 = 0.60$	$n_{d5} = 1.68893$	$\nu_{d5} = 31.07$
$r_{10} = 2.574$		$d_{10} =$ (可変)		
$r_{11} = 4.259$		$d_{11} = 0.66$	$n_{d6} = 1.49700$	$\nu_{d6} = 81.54$
$r_{12} = 6.233$	(非球面)	$d_{12} =$ (可変)		
$r_{13} = \infty$		$d_{13} = 0.79$	$n_{d7} = 1.74320$	$\nu_{d7} = 49.34$
$r_{14} = -8.029$	(非球面)	$d_{14} =$ (可変)		
$r_{15} = \infty$		$d_{15} = 0.50$	$n_{d8} = 1.51633$	$\nu_{d8} = 64.14$
$r_{16} = \infty$				

非球面係数

第2面

$$K = -0.565$$

$$A_4 = -1.29926 \times 10^{-4}$$

$$A_6 = 1.05590 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = -7.93901 \times 10^{-6}$$

$$A_{10} = 2.72375 \times 10^{-7}$$

第6面

$$K = -0.137$$

$$A_4 = -1.31726 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = -1.41891 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = 6.88204 \times 10^{-5}$$

$$A_{10} = -1.74013 \times 10^{-5}$$

第8面

$$K = -1.367$$

$$A_4 = -1.60327 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = -1.35433 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = 0$$

$$A_{10} = 0$$

第1 2面

$$K = 0.000$$

$$A_4 = 1.72530 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = 2.23148 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = 0$$

$$A_{10} = 0$$

第1 4面

$$K = -14.842$$

$$A_4 = -1.74997 \times 10^{-4}$$

$$A_6 = 2.64295 \times 10^{-6}$$

$$A_8 = 0$$

$$A_{10} = 0$$

ズームデータ (∞)

	WE	ST	TE
f (mm)	3.0	5.2	9.0
F _{no}	2.8	3.7	5.3
ω (°)	45.5	25.7	15.3
d ₄	7.91	3.24	0.91
d ₁₀	0.24	2.88	6.07
d ₁₂	2.12	2.25	4.11
d ₁₄	1.01	1.07	0.18

実施例6-2

r ₁ =	∞	d ₁ =	0.60	n _{d1} = 1.51633	v _{d1} = 64.14
r ₂ =	2.950 (非球面)	d ₂ =	2.52		
r ₃ =	5.433	d ₃ =	0.80	n _{d2} = 1.84666	v _{d2} = 23.78
r ₄ =	6.933	d ₄ =	(可変)		
r ₅ =	∞ (絞り)	d ₅ =	0.10		
r ₆ =	3.215 (非球面)	d ₆ =	0.81	n _{d3} = 1.58313	v _{d3} = 59.38
r ₇ =	-88.640	d ₇ =	0.10		

$r_8 =$	5.867 (非球面)	$d_8 =$	0.74	$n_{d4} = 1.78800$	$\nu_{d4} = 47.37$
$r_9 =$	-8.024	$d_9 =$	0.60	$n_{d5} = 1.68893$	$\nu_{d5} = 31.07$
$r_{10} =$	2.566	$d_{10} =$	(可変)		
$r_{11} =$	7.991	$d_{11} =$	0.60	$n_{d6} = 1.49700$	$\nu_{d6} = 81.54$
$r_{12} =$	27.210 (非球面)	$d_{12} =$	(可変)		
$r_{13} =$	-29.417	$d_{13} =$	0.99	$n_{d7} = 1.49700$	$\nu_{d7} = 81.54$
$r_{14} =$	-5.069 (非球面)	$d_{14} =$	(可変)		
$r_{15} =$	∞	$d_{15} =$	0.50	$n_{d8} = 1.51633$	$\nu_{d8} = 64.14$
$r_{16} =$	∞				

非球面係数

第2面

$$K = -0.893$$

$$A_4 = 1.45261 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = 1.41038 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = -7.01509 \times 10^{-6}$$

$$A_{10} = 4.11221 \times 10^{-7}$$

第6面

$$K = 0.128$$

$$A_4 = 1.53677 \times 10^{-5}$$

$$A_6 = -8.68099 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = 2.50336 \times 10^{-4}$$

$$A_{10} = -3.99233 \times 10^{-5}$$

第8面

$$K = -2.777$$

$$A_4 = -2.28635 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = -5.33394 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = -1.51884 \times 10^{-4}$$

$$A_{10} = 0$$

第12面

$$K = 0.000$$

$$A_4 = 2.30056 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = -1.45665 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = 2.87717 \times 10^{-5}$$

$$A_{10} = 0$$

第14面

$$K = -2.859$$

$$A_4 = -1.27245 \times 10^{-4}$$

$$A_6 = -4.60322 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = -3.26441 \times 10^{-6}$$

$$A_{10} = 0$$

ズームデータ (∞)

	WE	ST	TE
f (mm)	3.0	5.2	9.0
F _{No}	2.8	3.3	5.4
ω (°)	43.9	25.8	15.8
d ₄	7.57	1.59	0.74
d ₁₀	0.37	0.66	3.80
d ₁₂	1.44	1.79	6.68
d ₁₄	1.96	3.15	0.10

実施例 6-3

$$r_1 = -39.641 \quad d_1 = 0.60 \quad n_{d1} = 1.69350 \quad \nu_{d1} = 53.21$$

$$r_2 = 3.758 \text{ (非球面)} \quad d_2 = 1.62 \quad n_{d2} = 1.84666 \quad \nu_{d2} = 23.78$$

$$r_3 = 7.085 \quad d_3 = 0.83 \quad (可変)$$

$$r_4 = 13.743 \quad d_4 = (可変)$$

$$r_5 = \infty \text{ (絞り)} \quad d_5 = 0.10$$

$$r_6 = 3.644 \text{ (非球面)} \quad d_6 = 1.36 \quad n_{d3} = 1.69350 \quad \nu_{d3} = 53.21$$

$$r_7 = -23.518 \quad d_7 = 0.10$$

$$r_8 = 8.588 \text{ (非球面)} \quad d_8 = 0.82 \quad n_{d4} = 1.78800 \quad \nu_{d4} = 47.37$$

$$r_9 = -3.659 \quad d_9 = 0.60 \quad n_{d5} = 1.68893 \quad \nu_{d5} = 31.07$$

$r_{10}=$	2.800	$d_{10}=$ (可変)	
$r_{11}=$	4.441	$d_{11}=$ 1.29	$n_{d6}=1.49700 \nu_{d6}=81.54$
$r_{12}=$	4.321 (非球面)	$d_{12}=$ (可変)	
$r_{13}=$	5.613	$d_{13}=$ 1.20	$n_{d7}=1.69350 \nu_{d7}=53.21$
$r_{14}=$	556.044 (非球面)	$d_{14}=$ 0.22	
$r_{15}=$	∞	$d_{15}=$ 0.50	$n_{d8}=1.51633 \nu_{d8}=64.14$
$r_{16}=$	∞		

非球面係数

第2面

$$K = -0.730$$

$$A_4 = 1.40877 \times 10^{-6}$$

$$A_6 = 1.25212 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = -9.63026 \times 10^{-6}$$

$$A_{10} = 3.57391 \times 10^{-7}$$

第6面

$$K = 0.181$$

$$A_4 = -3.50134 \times 10^{-4}$$

$$A_6 = -9.65305 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = 1.52691 \times 10^{-4}$$

$$A_{10} = -3.81912 \times 10^{-5}$$

第8面

$$K = -19.376$$

$$A_4 = -1.33804 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = -1.00926 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 0$$

$$A_{10} = 0$$

第12面

$$K = 0.000$$

$$A_4 = -1.98092 \times 10^{-4}$$

$$A_6 = 1.58372 \times 10^{-4}$$

$A_8 = 0$ $A_{10} = 0$

第14面

 $K = 0.000$ $A_4 = 4.78191 \times 10^{-3}$ $A_6 = -3.69614 \times 10^{-4}$ $A_8 = 0$ $A_{10} = 0$ ズームデータ (∞)

	WE	ST	TE
f (mm)	3.0	5.2	9.0
F_{No}	2.8	3.7	5.2
ω (°)	46.4	25.8	14.8
d_4	7.08	2.79	0.22
d_{10}	0.23	4.07	6.51
d_{12}	1.91	0.90	2.49

実施例7-1

$r_1 = 16.444$ (非球面)	$d_1 = 1.11$	$n_{d1} = 1.49700$ $\nu_{d1} = 81.54$
$r_2 = -10.268$	$d_2 =$ (可変)	
$r_3 = -6.588$ (非球面)	$d_3 = 0.60$	$n_{d2} = 1.81600$ $\nu_{d2} = 46.62$
$r_4 = 4.660$	$d_4 = 0.81$	$n_{d3} = 1.84666$ $\nu_{d3} = 23.78$
$r_5 = 10.739$	$d_5 =$ (可変)	
$r_6 = \infty$ (絞り)	$d_6 =$ (可変)	
$r_7 = 2.889$ (非球面)	$d_7 = 1.73$	$n_{d4} = 1.72916$ $\nu_{d4} = 54.68$
$r_8 = -6.939$	$d_8 = 0.10$	
$r_9 = -296.907$	$d_9 = 1.00$	$n_{d5} = 1.84666$ $\nu_{d5} = 23.78$
$r_{10} = 2.764$ (非球面)	$d_{10} =$ (可変)	
$r_{11} = 10.958$ (非球面)	$d_{11} = 0.69$	$n_{d6} = 1.84666$ $\nu_{d6} = 23.78$
$r_{12} = -38.512$	$d_{12} =$ (可変)	

$r_{13} = \infty$ $d_{13} = 0.50$ $n_{d7} = 1.51633$ $\nu_{d7} = 64.14$

$r_{14} = \infty$

非球面係数

第1面

$K = 0.000$

$A_4 = -3.90951 \times 10^{-4}$

$A_6 = -1.51396 \times 10^{-5}$

$A_8 = -1.67063 \times 10^{-7}$

$A_{10} = 0$

第3面

$K = -8.941$

$A_4 = -2.25798 \times 10^{-3}$

$A_6 = 1.84228 \times 10^{-4}$

$A_8 = -6.78364 \times 10^{-6}$

$A_{10} = 0$

第7面

$K = 0.149$

$A_4 = -5.76087 \times 10^{-3}$

$A_6 = -3.03438 \times 10^{-4}$

$A_8 = -1.86281 \times 10^{-4}$

$A_{10} = 1.78319 \times 10^{-5}$

第10面

$K = -0.789$

$A_4 = 1.46423 \times 10^{-2}$

$A_6 = 1.70602 \times 10^{-3}$

$A_8 = -1.02432 \times 10^{-4}$

$A_{10} = 0$

第11面

$K = -1.302$

$A_4 = 1.42750 \times 10^{-3}$

$$A_6 = 3.40229 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = -3.10139 \times 10^{-6}$$

$$A_{10} = 0$$

ズームデータ (∞)

	WE	ST	TE
f (mm)	4.4	7.6	13.2
F _{NO}	2.8	3.3	4.3
ω (°)	33.4	17.9	10.5
d ₂	0.21	1.63	3.00
d ₅	4.45	1.68	0.16
d ₆	1.86	1.55	0.10
d ₁₀	0.36	1.53	2.25
d ₁₂	3.24	3.73	4.61

実施例 7-2

r ₁ = 12.875 (非球面)	d ₁ = 1.22	n _{d1} = 1.49700 ν_{d1} = 81.54
r ₂ = -11.898	d ₂ = (可変)	
r ₃ = -6.694 (非球面)	d ₃ = 0.60	n _{d2} = 1.81600 ν_{d2} = 46.62
r ₄ = 4.386	d ₄ = 0.38	
r ₅ = 5.629	d ₅ = 0.78	n _{d3} = 1.84666 ν_{d3} = 23.78
r ₆ = 15.581	d ₆ = (可変)	
r ₇ = ∞ (絞り)	d ₇ = (可変)	
r ₈ = 2.890 (非球面)	d ₈ = 2.00	n _{d4} = 1.72916 ν_{d4} = 54.68
r ₉ = -7.475	d ₉ = 0.10	
r ₁₀ = -40.151	d ₁₀ = 0.60	n _{d5} = 1.84666 ν_{d5} = 23.78
r ₁₁ = 3.043 (非球面)	d ₁₁ = (可変)	
r ₁₂ = 8.251 (非球面)	d ₁₂ = 0.65	n _{d6} = 1.84666 ν_{d6} = 23.78
r ₁₃ = 110.712	d ₁₃ = (可変)	
r ₁₄ = ∞	d ₁₄ = 0.50	n _{d7} = 1.51633 ν_{d7} = 64.14
r ₁₅ = ∞		

非球面係数

第1面

$$K = 0.000$$

$$A_4 = -2.87331 \times 10^{-4}$$

$$A_6 = -1.36425 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = -2.10759 \times 10^{-7}$$

$$A_{10} = 0$$

第3面

$$K = -6.859$$

$$A_4 = -6.46103 \times 10^{-4}$$

$$A_6 = 6.43816 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = -2.35771 \times 10^{-6}$$

$$A_{10} = 0$$

第8面

$$K = 0.202$$

$$A_4 = -4.23004 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = -5.62239 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = 1.16888 \times 10^{-5}$$

$$A_{10} = -2.46485 \times 10^{-5}$$

第11面

$$K = -0.930$$

$$A_4 = 1.38536 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 1.65230 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 1.48060 \times 10^{-4}$$

$$A_{10} = 0$$

第12面

$$K = -4.825$$

$$A_4 = 1.27515 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = 1.23670 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = -2.14636 \times 10^{-5}$$

$A_{10} = 0$ ズームデータ (∞)

	WE	ST	TE
f (mm)	4.4	7.6	13.2
F_{NO}	2.8	3.5	4.1
ω (°)	33.0	17.9	10.5
d_2	0.25	1.67	2.81
d_6	5.38	3.17	0.15
d_7	1.16	0.15	0.10
d_{11}	0.30	1.42	2.02
d_{13}	3.87	4.53	5.87

実施例 7-3

$r_1 = 11.725$ (非球面)	$d_1 = 1.09$	$n_{d1} = 1.49700$ $\nu_{d1} = 81.54$
$r_2 = -16.531$	$d_2 =$ (可変)	
$r_3 = -8.820$ (非球面)	$d_3 = 0.60$	$n_{d2} = 1.81600$ $\nu_{d2} = 46.62$
$r_4 = 4.699$	$d_4 = 0.42$	
$r_5 = 5.723$	$d_5 = 0.74$	$n_{d3} = 1.84666$ $\nu_{d3} = 23.78$
$r_6 = 13.620$	$d_6 =$ (可変)	
$r_7 = \infty$ (絞り)	$d_7 =$ (可変)	
$r_8 = 3.020$ (非球面)	$d_8 = 1.71$	$n_{d4} = 1.72916$ $\nu_{d4} = 54.68$
$r_9 = -7.650$	$d_9 = 0.10$	
$r_{10} = -55.896$	$d_{10} = 0.89$	$n_{d5} = 1.84666$ $\nu_{d5} = 23.78$
$r_{11} = 3.002$ (非球面)	$d_{11} =$ (可変)	
$r_{12} = 5.067$ (非球面)	$d_{12} = 0.80$	$n_{d6} = 1.84666$ $\nu_{d6} = 23.78$
$r_{13} = 12.083$	$d_{13} =$ (可変)	
$r_{14} = \infty$	$d_{14} = 0.50$	$n_{d7} = 1.51633$ $\nu_{d7} = 64.14$
$r_{15} = \infty$		

非球面係数

第1面

$K = 0.000$

$A_4 = -1.66609 \times 10^{-4}$

$A_6 = -2.74210 \times 10^{-6}$

$A_8 = -1.85730 \times 10^{-7}$

$A_{10} = 0$

第3面

$K = -12.939$

$A_4 = -1.39316 \times 10^{-3}$

$A_6 = 9.75592 \times 10^{-5}$

$A_8 = -2.56373 \times 10^{-6}$

$A_{10} = 0$

第8面

$K = -0.005$

$A_4 = -3.06313 \times 10^{-3}$

$A_6 = -2.32293 \times 10^{-4}$

$A_8 = -7.53412 \times 10^{-5}$

$A_{10} = 3.30742 \times 10^{-6}$

第11面

$K = -1.189$

$A_4 = 1.28018 \times 10^{-2}$

$A_6 = 1.75616 \times 10^{-3}$

$A_8 = -7.21525 \times 10^{-5}$

$A_{10} = 0$

第12面

$K = -4.764$

$A_4 = 3.80909 \times 10^{-3}$

$A_6 = -1.52897 \times 10^{-4}$

$A_8 = 5.78542 \times 10^{-6}$

$A_{10} = 0$

ズームデータ (∞)

	WE	ST	TE
f (mm)	4.4	7.6	13.2
F_{no}	2.8	3.4	3.9
ω (°)	34.3	17.9	10.4
d_2	0.24	2.31	4.55
d_6	4.46	2.39	0.15
d_7	2.61	1.19	0.10
d_{11}	0.25	1.54	3.28
d_{13}	3.31	3.45	2.80

上記実施例 1-1、1-2 における条件式 (2A) ~ (3A) の値を次に示す。

実施例 1-1 実施例 1-2

条件式 (2A)	2.85	5.36
条件式 (3A)		
(物体側レンズ)	1.16	0.68
(像側レンズ)	1.03	-

上記実施例 2-1、2-2 における条件式 (2B) ~ (3B) の値を次に示す。

実施例 2-1 実施例 2-2

条件式 (2B)	2.85	5.36
条件式 (3B)		
(物体側レンズ)	1.16	0.68
(像側レンズ)	1.03	-

上記実施例 3-1、3-2 における条件式 (2C) ~ (4C) の値を次に示す。

実施例 3-1 実施例 3-2

条件式 (2C)	6.08	3.95
条件式 (3C)		
(物体側レンズ)	1.43	1.13
(像側レンズ)	1.89	0.78

条件式 (4 C)	12.05	4.34
-----------	-------	------

上記実施例 4-1、4-2 における条件式 (2 D) ~ (4 D) の値を次に示す。

	実施例 4-1	実施例 4-2
条件式 (2 D)	4.17	2.38
条件式 (3 D)		
(物体側レンズ)	2.32	2.11
(像側レンズ)	1.17	1.50
条件式 (4 D)	3.50	3.07

上記実施例 5-1、5-2 における条件式 (2 E) ~ (3 E)、(5 E) の値を次に示す。

	実施例 5-1	実施例 5-2
条件式 (2 E)	3.63	3.26
条件式 (3 E)		
(物体側レンズ)	2.36	2.55
(像側レンズ)	1.60	1.48
条件式 (5 E)	4.56	4.01

上記実施例 6-1 ~ 6-3 における条件式 (2 F) ~ (5 F) の値を次に示す。

	実施例 6-1	実施例 6-2	実施例 6-3
条件式 (2 F)	6.98	10.65	6.57
条件式 (3 F)			
(物体側レンズ)	1.94	1.59	2.50
(像側レンズ)	1.28	1.39	1.17
条件式 (4 F)	6.40	4.58	202.83
条件式 (5 F)	3.62	4.10	4.03

上記実施例 7-1 ~ 7-3 における条件式 (2 G) ~ (5 G) の値を次に示す。

実施例 7-1	実施例 7-2	実施例 7-3
---------	---------	---------

条件式 (2 G)	4.59	4.96	4.92
条件式 (3 G)	3.62	3.72	3.97
条件式 (4 G)	1.96	2.30	2.06
条件式 (5 G)	3.15	3.12	3.81

ところで、以上の実施例の変倍光学系では全てのレンズにガラスを用いているが、樹脂材料を用いることは可能である。レンズが樹脂材料からなると、レンズを樹脂材料の成形法で生産することができ、容易に大量に生産することができる。また、材料費が安いため、安価な光学系が実現できる。

また、ガラスの代わりに有機無機複合材料を用いてもよい。本発明で利用可能な有機無機複合体について説明する。

有機無機複合体は、有機成分と無機成分とが分子レベル、若しくはナノスケールで混合複合化されたものである。その形態は、(1) 有機骨格からなる高分子マトリックスと無機骨格からなるマトリックスが相互に絡み合い、互いのマトリックスへ貫入された構造のもの、(2) 有機骨格からなる高分子マトリックス中に、ナノスケールの光の波長より十分小さな無機微粒子（いわゆるナノ粒子）が均一分散したもの、及び(3) これらの複合構造になったものがある。

有機成分と無機成分との間には、水素結合や分散力、クーロン力等の分子間力や、共有結合、イオン結合、 π 電子雲の相互作用による引力等、何らかの相互作用が働いている。有機無機複合体では、前述のように有機成分と無機成分が分子レベル、若しくは光の波長より小さなスケール領域で混合されている。このため、光の散乱に対する影響がほとんどなくなりており、透明体が得られる。また、マックスウェル方程式からも導かれるように、有機成分、無機成分それぞれの光学特性を反映した材料となる。よって、有機成分、無機成分の種類と存在量比率に応じて、種々の光学特性（屈折率、波長分散性）を発現するようになる。このことから、有機成分と無機成分を任意の比率で配合することで、種々の光学特性が得られるようになる。

以下の表1は、アクリレート樹脂（紫外線硬化型）とジルコニア（ ZrO_2 ）ナノ粒子の有機無機複合体の組成例を示す。表2は、アクリレート樹脂とジルコニア（ ZrO_2 ）／アルミナ（ Al_2O_3 ）ナノ粒子の有機無機複合体の組成例を示す。表3は、アクリレート系樹脂とニオブ酸化物（ Nb_2O_5 ）ナノ粒子の有機無機複合体の組成例を示す。表

4は、アクリレート樹脂とジルコニウムアルコキシドとアルミナ (Al_2O_3) ナノ粒子の有機無機複合体の組成例を示す。

表1

ジルコニア含有量	n_d	ν_d	n_c	n_F	n_g	備考
0	1.49236	57.85664	1.48981	1.49832	1.50309	アクリル 100 %
0.1	1.579526	54.85037	1.57579	1.586355	1.59311	
0.2	1.662128	53.223	1.657315	1.669756	1.678308	
0.3	1.740814	52.27971	1.735014	1.749184	1.759385	
0.4	1.816094	51.71726	1.809379	1.825159	1.836887	
0.5	1.888376	51.3837	1.880807	1.898096	1.911249	

表2

Al_2O_3 存在率	ZrO_2 存在率	n_d	ν_d	n_c	n_F	n_g	備考
0.1	0.4	1.831515	53.56672	1.824851	1.840374	1.851956	アクリレート50%

0.2	0.3	1.772832	56.58516	1.767125	1.780783	1.790701	
0.3	0.2	1.712138	60.97687	1.707449	1.719127	1.727275	
0.4	0.1	1.649213	67.85669	1.645609	1.655177	1.661429	
0.2	0.2	1.695632	58.32581	1.690903	1.702829	1.774891	

表3

Nb ₂ O ₅ 含有量	Al ₂ O ₃ 含有量	n _d	ν _d	n _c	n _F	n _s
0.1	0	1.589861	29.55772	1.584508	1.604464	1.617565
0.2	0	1.681719	22.6091	1.673857	1.70401	1.724457
0.3	0	1.768813	19.52321	1.758673	1.798053	1.8251
0.4	0	1.851815	17.80818	1.839583	1.887415	1.920475
0.5	0	1.931253	16.73291	1.91708	1.972734	2.011334

表4

Al ₂ O ₃ (膜) 含有量	ジルコニアア ルコキシド	n _d	ν _d	n _c	n _F

0	0.3	1.533113	58.39837	1.530205	1.539334
0.1	0.27	1.54737	62.10192	1.544525	1.553339
0.2	0.24	1.561498	66.01481	1.558713	1.567219
0.3	0.21	1.575498	70.15415	1.572774	1.580977
0.4	0.18	1.589376	74.53905	1.586709	1.594616

さて、以上のような変倍光学系、結像光学系を備えた電子機器について説明する。この電子機器には、上記光学系で物体像を形成し、その像をCCD等の撮像素子に受光させて撮影を行う撮影装置が用いられている。電子機器には、デジタルカメラやビデオカメラ、デジタルビデオユニット、情報処理装置の例であるパソコン用コンピュータ、モバイルコンピュータ、電話、特に持ち運びに便利な携帯電話、情報携帯端末等がある。以下に、その実施形態を例示する。

図57～図59はデジタルカメラの例であり、本発明による変倍光学系を撮影光学系41として用いた構成の概念図である。図57はデジタルカメラ40の外観を示す前方斜視図、図58は同後方斜視図、図59はデジタルカメラ40の構成を示す断面図である。

デジタルカメラ40は、この例の場合、撮影光学系41ファインダー光学系43、シャッター45、フラッシュ46、液晶表示モニター47等を含む。撮影光学系41は、撮影用光路42上に配置されている。また、ファインダー光学系43は、撮影用光路42とは別のファインダー用光路44上に配置されている。また、カメラ40の上部には、シャッター45が設けられている。よって、撮影者がシャッター45を押すと、それに連動して撮影光学系41、例えば第1の変倍光学系の実施例1-1の変倍光学系を通して撮影が行われる。

撮影光学系41によって形成された物体像は、平行平板P1とカバーガラスP2を介して、CCD49の撮像面上に形成される。ここで、平行平板P1には近紫外線カットコートが施されている。また、平行平板P1に、ローパスフィルター作用を持たせても良い。

CCD 4 9 で受光された物体像は、処理手段 5 1 を介して、電子画像として液晶表示モニター 4 7 に表示される。液晶表示モニター 4 7 は、カメラ背面に設けられている。また、この処理手段 5 1 には記録手段 5 2 が接続され、撮影された電子画像を記録することもできる。

なお、この記録手段 5 2 は処理手段 5 1 と別体に設けててもよい。例えば、記録手段 5 2 は、フロッピーディスク、メモリーカードあるいはMO等であってもよい。このように記録手段 5 2 は、電子的に記録書込を行うように構成してもよい。また、CCD 4 9 に代わって、銀塩フィルムを配置した銀塩カメラとして構成してもよい。

ファインダー用光路 4 4 上には、ファインダー用対物光学系 5 3 が配置してある。このファインダー用対物光学系 5 3 によって形成された物体像は、視野枠 5 7 上に形成される。ここで、視野枠 5 7 上は、像正立部材であるポロプリズム 5 5 に設けられている。このポロプリズム 5 5 の後方には、正立正像にされた像を観察者眼球 E に導く接眼光学系 5 9 が配置されている。なお、撮影光学系 4 1 及びファインダー用対物光学系 5 3 の入射側、接眼光学系 5 9 の射出側には、それぞれカバー部材 5 0 が配置されている。なお、ここでは、カバー部材 5 0 として平行平面板を配置しているが、パワーを持ったレンズを用いてもよい。

このように構成されたデジタルカメラ 4 0 は、撮影光学系 4 1 が高性能で小型であるので、高性能・小型化が実現できる。

次に、図 6 0 ～図 6 2 は情報処理装置の一例であるパソコンであって、変倍光学系を対物光学系として用いた構成の概念図である。図 6 0 はパソコン 3 0 0 のカバーを開いた前方斜視図、図 6 1 はパソコン 3 0 0 の撮影光学系 3 0 3 の断面図、図 6 2 は図 6 0 の状態の側面図である。

パソコン 3 0 0 は、外部から操作者が情報を入力するためのキーボード 3 0 1 と、情報を操作者に表示するモニター 3 0 2 と、操作者自身や周辺の像を撮影するための撮影光学系 3 0 3 とを有している。さらに、パソコン 3 0 0 は、図示を省略した情報処理手段や記録手段を有する。ここで、モニター 3 0 2 は、図示しないバックライトにより背面から照明する透過型液晶表示素子や、前面からの光を反射して表示する反射型液晶表示素子や、CRTディスプレイ等であってよい。また、図中、撮影光学系 3 0 3 は、モニター 3 0 2 の右上に内蔵されているが、その場所に限られない。例えば、モニター 3 0 2 の周囲や、キーボード 3 0 1 の周囲のどこであってもよい。

この撮影光学系303は、撮影光路304上に、本発明による変倍光学系（図では略記）からなる対物レンズ112と、像を受光する撮像素子チップ162とを有している。これらはパソコン300に内蔵されている。

ここで、撮像素子チップ162上には、光学的ローパスフィルター等の平行平面板群Fが、付加的に貼り付けられている。よって、撮像素子チップ162と平行平面板群Fは一体となって、撮像ユニット160を構成している。そして、この撮像ユニット160は、対物レンズ112の鏡枠113の後端に、ワンタッチで嵌め込まれて取り付け可能になっている。そのため、対物レンズ112と撮像素子チップ162の中心合わせや、面間隔の調整が不要であり、組立が簡単となっている。また、鏡枠113の先端には、対物レンズ112を保護するためのカバーガラス114が配置されている。なお、鏡枠113中の変倍光学系の駆動機構は図示を省いてある。

撮像素子チップ162で受光された物体像は、端子166を介して、パソコン300の処理手段に入力される。そして、物体像は、電子画像としてモニター302に表示される。図15には、その一例として、操作者の撮影された画像305が示されている。また、この画像305は、処理手段を介し、インターネットや電話を介して、遠隔地から通信相手のパソコンに表示されることも可能である。

次に、図63は情報処理装置の一例である電話であって、変倍光学系を撮影光学系として用いた構成の概念図である。ここで、電話は、持ち運びに便利な携帯電話である。図63(a)は携帯電話400の正面図、図63(b)は側面図、図63(c)は撮影光学系405の断面図である。

携帯電話400は、マイク部401、スピーカ部402、入力ダイアル403、モニター404、撮影光学系405、アンテナ406及び処理手段（図示せず）とを有している。マイク部401には、操作者の声が情報として入力される。スピーカ部402は、通話相手の声を出力する。入力ダイアル403は、操作者が情報を入力するボタンを有する。モニター404は、操作者自身や通話相手等の撮影像や、電話番号等の情報を表示する。アンテナ406は、通信電波の送信と受信を行う。ここで、モニター404は、液晶表示素子である。また、図中、各構成の配置位置は、特にこれらに限られない。

この撮影光学系405は、撮影光路407上に配置されている。そして、この撮影光学系405は、本発明による変倍光学系（図では略記）からなる対物レンズ112と、物体像を受光する撮像素子チップ162とを有している。これらは、携帯電話400に内蔵さ

れている。

ここで、撮像素子チップ162上には、光学的ローパスフィルター等の平行平面板群Fが、付加的に貼り付けられている。よって、撮像素子チップ162と平行平面板群Fは一体となって、撮像ユニット160を構成している。そして、この撮像ユニット160は、対物レンズ112の鏡枠113の後端に、ワンタッチで嵌め込まれて取り付け可能になっている。そのため、対物レンズ112と撮像素子チップ162の中心合わせや、面間隔の調整が不要であり、組立が簡単となっている。また、鏡枠113の先端には、対物レンズ112を保護するためのカバーガラス114が配置されている。なお、鏡枠113中の変倍光学系の駆動機構は図示を省いてある。

撮影素子チップ162で受光された物体像は、端子166を介して、図示していない処理手段に入力される。そして、物体像は、電子画像としてモニター404に表示される。また、撮像素子チップ162で受光された物体像の情報を、送信可能な信号へと変換する信号処理機能が処理手段に含まれている。よって、通信相手に画像を送信することができるので、物体像を通信相手のモニターに表示させることもできる。

産業上の利用可能性

本発明によると、変倍光学系の低コスト化と小型化との両立を効果的に行うことができ、それを用いた電子機器も同様に低コスト化と小型化を達成することができる。

請求の範囲

1. 負の屈折力を有するレンズ群と、正の屈折力を有するレンズ群とから構成され、少なくとも1枚のレンズが、成形後において少なくとも光学機能面を含む面となる第1の素材と、成形後において少なくとも光学機能面を含む面以外の面となる第2の素材とを用いて成形され、前記第1の素材と前記第2の素材とが一体化された一体レンズからなることを特徴とする変倍光学系。

2. 前記第2の素材が遮光性を有するものであることを特徴とする請求項1に記載の変倍光学系。

3. 前記第2の素材が、金属、サーメット又はセラミックスであることを特徴とする請求項1に記載の変倍光学系。

4. 前記変倍光学系を構成する少なくとも1つの光学素子の光学材料として有機無機複合材料を用いることを特徴とする請求項1に記載の変倍光学系。

5. 少なくとも1枚の前記一体レンズの最薄部厚さが、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項1に記載の変倍光学系。

$$0.1 \text{ mm} < t < 0.5 \text{ mm} \quad \dots (1)$$

ただし、 t ：一体レンズの最薄部厚さである。

6. 前記変倍光学系は、物体側から順に、負の第1レンズ群と正の第2レンズ群を有することを特徴とする請求項1に記載の変倍光学系。

7. 前記第1レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項6に記載の変倍光学系。

$$0.1 < HH1 / \phi 1 < 10 \quad \dots (2A)$$

ただし、 $HH1$ は第1群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 1$ は第1群正レンズの屈折力である。

。

8. 前記第2レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項6に記載の変倍光学系。

$$0.1 < HH2 / \phi 2 < 10 \quad \dots (3A)$$

ただし、 $HH2$ は第2群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 2$ は第2群正レンズの屈折力である。

。

9. 前記変倍光学系は、物体側から順に、正の第1レンズ群と負の第2レンズ群を有することを特徴とする請求項1に記載の変倍光学系。

10. 前記第1レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項9に記載の変倍光学系。

$$0. 1 < HH1 / \phi 1 < 15 \quad \dots (2B)$$

ただし、HH1は第1群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 1$ は第1群正レンズの屈折力である。

11. 前記第2レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項9に記載の変倍光学系。

$$0. 1 < HH2 / \phi 2 < 6 \quad \dots (3B)$$

ただし、HH2は第2群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 2$ は第2群正レンズの屈折力である。

12. 前記変倍光学系は、物体側から順に、負の第1レンズ群、正の第2レンズ群及び正の第3レンズ群を有することを特徴とする請求項1に記載の変倍光学系。

13. 前記第1レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項12に記載の変倍光学系。

$$0. 1 < HH1 / \phi 1 < 15 \quad \dots (2C)$$

ただし、HH1は第1群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 1$ は第1群正レンズの屈折力である。

14. 前記第2レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項12に記載の変倍光学系。

$$0. 1 < HH2 / \phi 2 < 10 \quad \dots (3C)$$

ただし、HH2は第2群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 2$ は第2群正レンズの屈折力である。

15. 前記第3レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項12に記載の変倍光学系。

$$0. 1 < HH3 / \phi 3 < 20 \quad \dots (4C)$$

ただし、HH3は第3群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 3$ は第3群正レンズの屈折力である。

16. 前記変倍光学系は、物体側から順に、負の第1レンズ群、正の第2レンズ群、

正の第3レンズ群及び負の第4レンズ群を有することを特徴とする請求項1に記載の変倍光学系。

17. 前記第1レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項16に記載の変倍光学系。

$$0. 1 < HH1 / \phi 1 < 10 \quad \dots (2D)$$

ただし、HH1は第1群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 1$ は第1群正レンズの屈折力である。

18. 前記第2レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項16に記載の変倍光学系。

$$0. 1 < HH2 / \phi 2 < 10 \quad \dots (3D)$$

ただし、HH2は第2群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 2$ は第2群正レンズの屈折力である。

19. 前記第3レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項16に記載の変倍光学系。

$$0. 1 < HH3 / \phi 3 < 20 \quad \dots (4D)$$

ただし、HH3は第3群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 3$ は第3群正レンズの屈折力である。

20. 前記変倍光学系は、物体側から順に、負の第1レンズ群、正の第2レンズ群、負の第3レンズ群及び正の第4レンズ群を有することを特徴とする請求項1に記載の変倍光学系。

21. 前記第1レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項20に記載の変倍光学系。

$$0. 1 < HH1 / \phi 1 < 10 \quad \dots (2E)$$

ただし、HH1は第1群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 1$ は第1群正レンズの屈折力である。

22. 前記第2レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項20に記載の変倍光学系。

$$0. 1 < HH2 / \phi 2 < 6 \quad \dots (3E)$$

ただし、HH2は第2群正レンズの主点間隔(mm)、 $\phi 2$ は第2群正レンズの屈折力である。

23. 前記第4レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項20に記載の変倍光学系。

$$0.1 < HH_4 / \phi_4 < 1.0 \quad \dots (5E)$$

ただし、HH₄は第4群正レンズの主点間隔(mm)、 ϕ_4 は第4群正レンズの屈折力である。

24. 前記変倍光学系は、物体側から順に、負の第1レンズ群、正の第2レンズ群、正の第3レンズ群及び正の第4レンズ群を有することを特徴とする請求項1に記載の変倍光学系。

25. 前記第1レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項24に記載の変倍光学系。

$$0.1 < HH_1 / \phi_1 < 1.5 \quad \dots (2F)$$

ただし、HH₁は第1群正レンズの主点間隔(mm)、 ϕ_1 は第1群正レンズの屈折力である。

26. 前記第2レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項24に記載の変倍光学系。

$$0.1 < HH_2 / \phi_2 < 1.0 \quad \dots (3F)$$

ただし、HH₂は第2群正レンズの主点間隔(mm)、 ϕ_2 は第2群正レンズの屈折力である。

27. 前記第3レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項24に記載の変倍光学系。

$$0.1 < HH_3 / \phi_3 < 2.0 \quad \dots (4F)$$

ただし、HH₃は第3群正レンズの主点間隔(mm)、 ϕ_3 は第3群正レンズの屈折力である。

28. 前記第4レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項24に記載の変倍光学系。

$$0.1 < HH_4 / \phi_4 < 2.0 \quad \dots (5F)$$

ただし、HH₄：第4群正レンズの主点間隔(mm)、 ϕ_4 は第4群正レンズの屈折力である。

29. 前記変倍光学系は、物体側から順に、正の第1レンズ群、負の第2レンズ群、正の第3レンズ群及び正の第4レンズ群を有することを特徴とする請求項1に記載の変倍

光学系。

30. 前記第1レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすこと
を特徴とする請求項29に記載の変倍光学系。

$$0.1 < HH1 / \phi_1 < 2.0 \quad \dots (2G)$$

ただし、HH1は第1群正レンズの主点間隔(ミリ)、 ϕ_1 は第1群正レンズの屈折力である

。

31. 前記第2レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすこと
を特徴とする請求項29に記載の変倍光学系。

$$0.1 < HH2 / \phi_2 < 1.5 \quad \dots (3G)$$

ただし、HH2は第2群正レンズの主点間隔(ミリ)、 ϕ_2 は第2群正レンズの屈折力である

。

32. 前記第3レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすこと
を特徴とする請求項24に記載の変倍光学系。

$$0.1 < HH3 / \phi_3 < 8 \quad \dots (4G)$$

ただし、HH3は第3群正レンズの主点間隔(ミリ)、 ϕ_3 は第3群正レンズの屈折力である

。

33. 前記第4レンズ群の少なくとも1枚の正レンズが、以下の条件式を満たすこと
を特徴とする請求項24に記載の変倍光学系。

$$0.1 < HH4 / \phi_4 < 1.0 \quad \dots (5G)$$

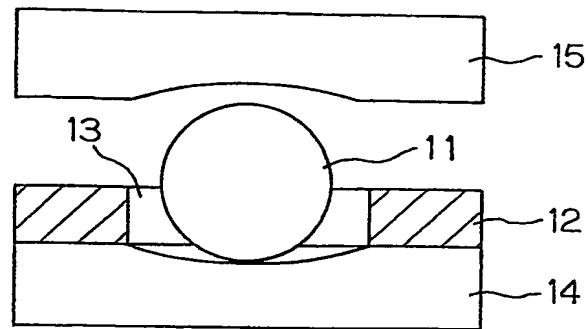
ただし、HH4：第4群正レンズの主点間隔(ミリ)、 ϕ_4 は第4群正レンズの屈折力である

。

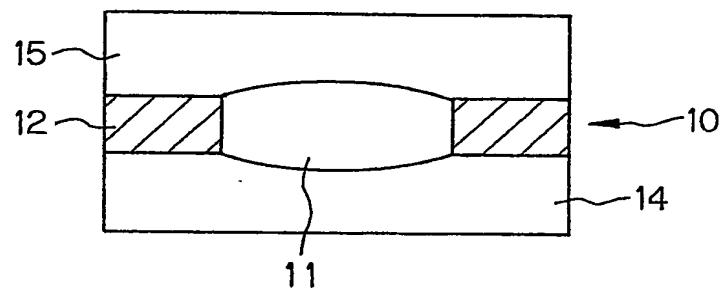
34. 請求項1に記載の変倍光学系と、その像側に配された電子撮像素子とを有する
ことを特徴とする電子機器。

第1図

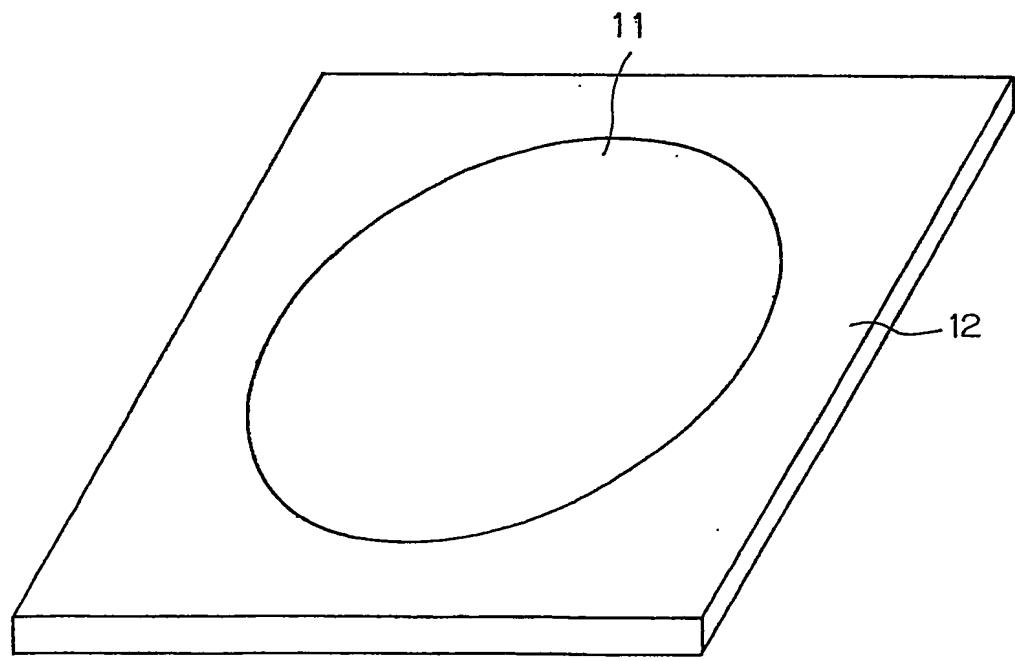
(a)



(b)

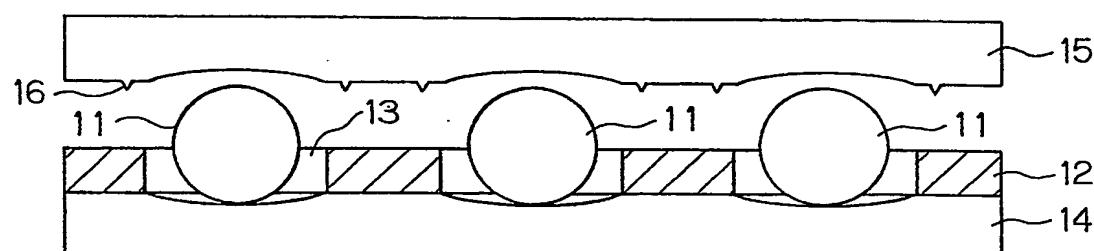


第2図

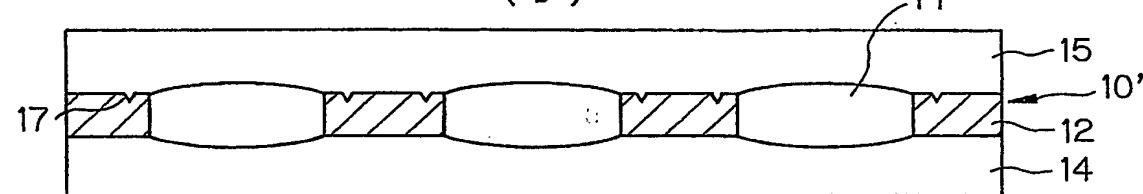


第3図

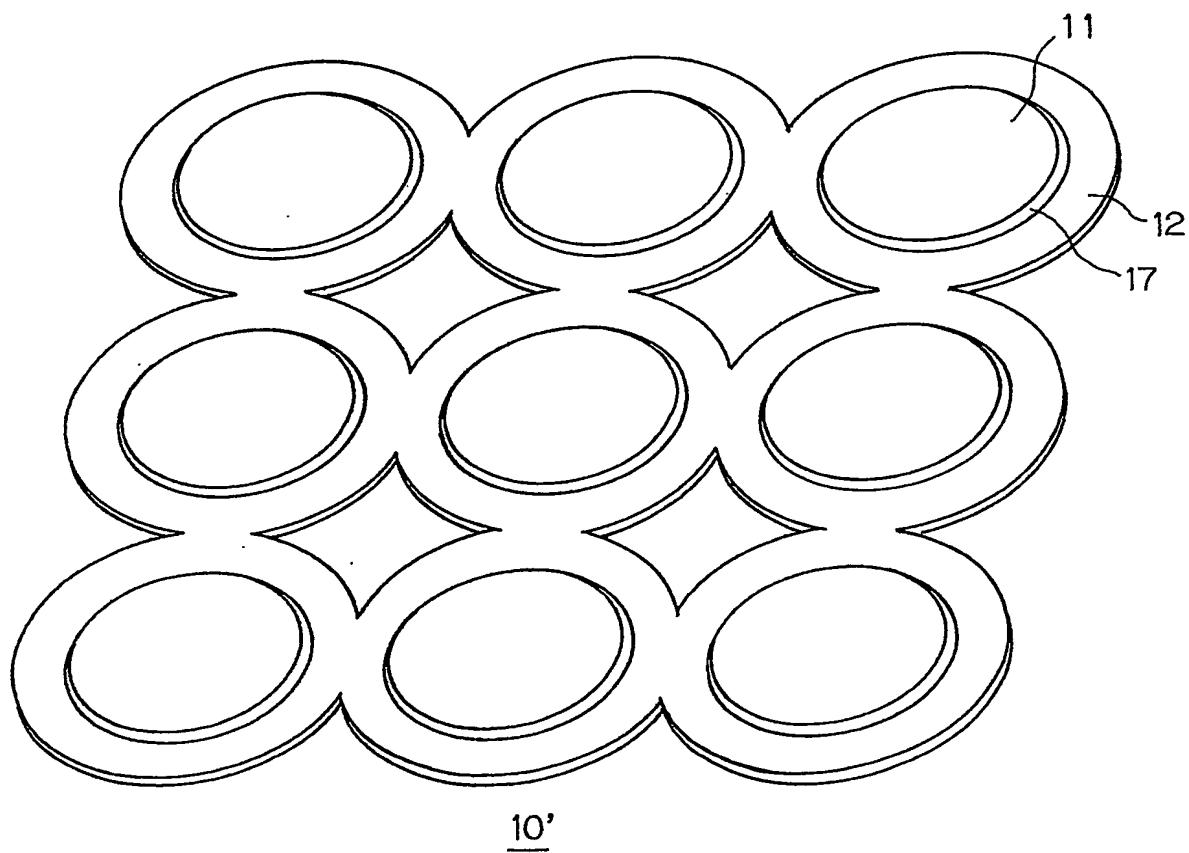
(a)



(b)

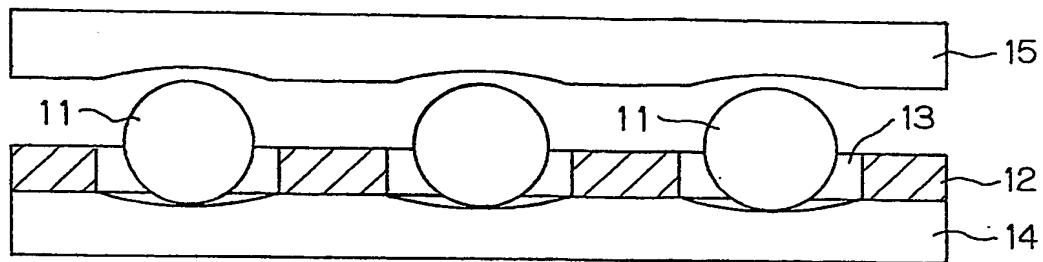


第4図

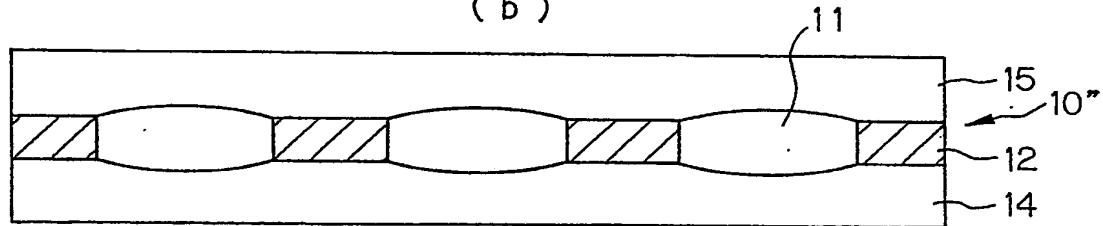


第5図

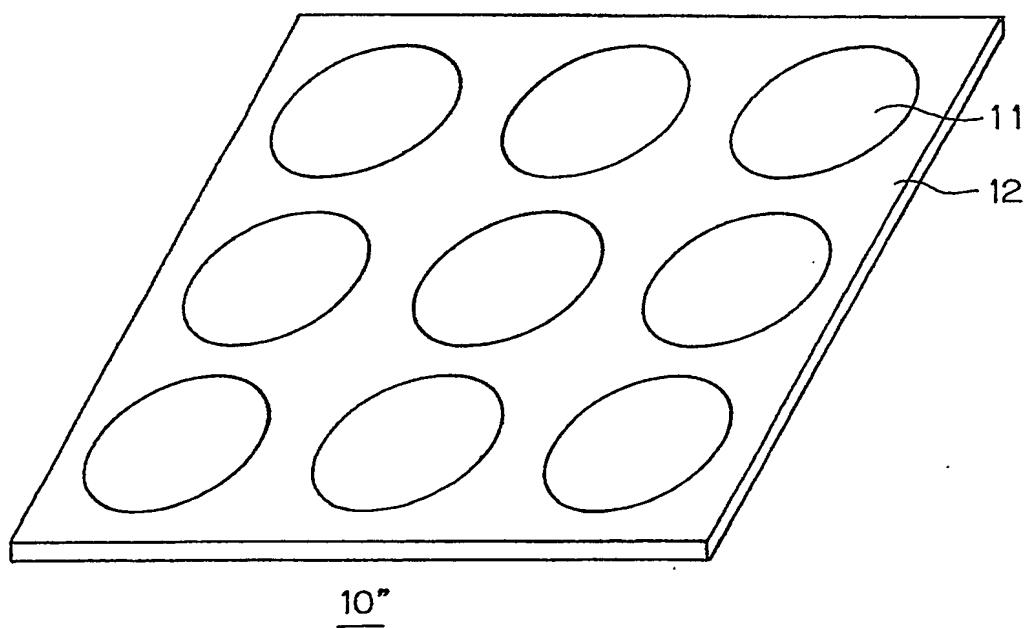
(a)



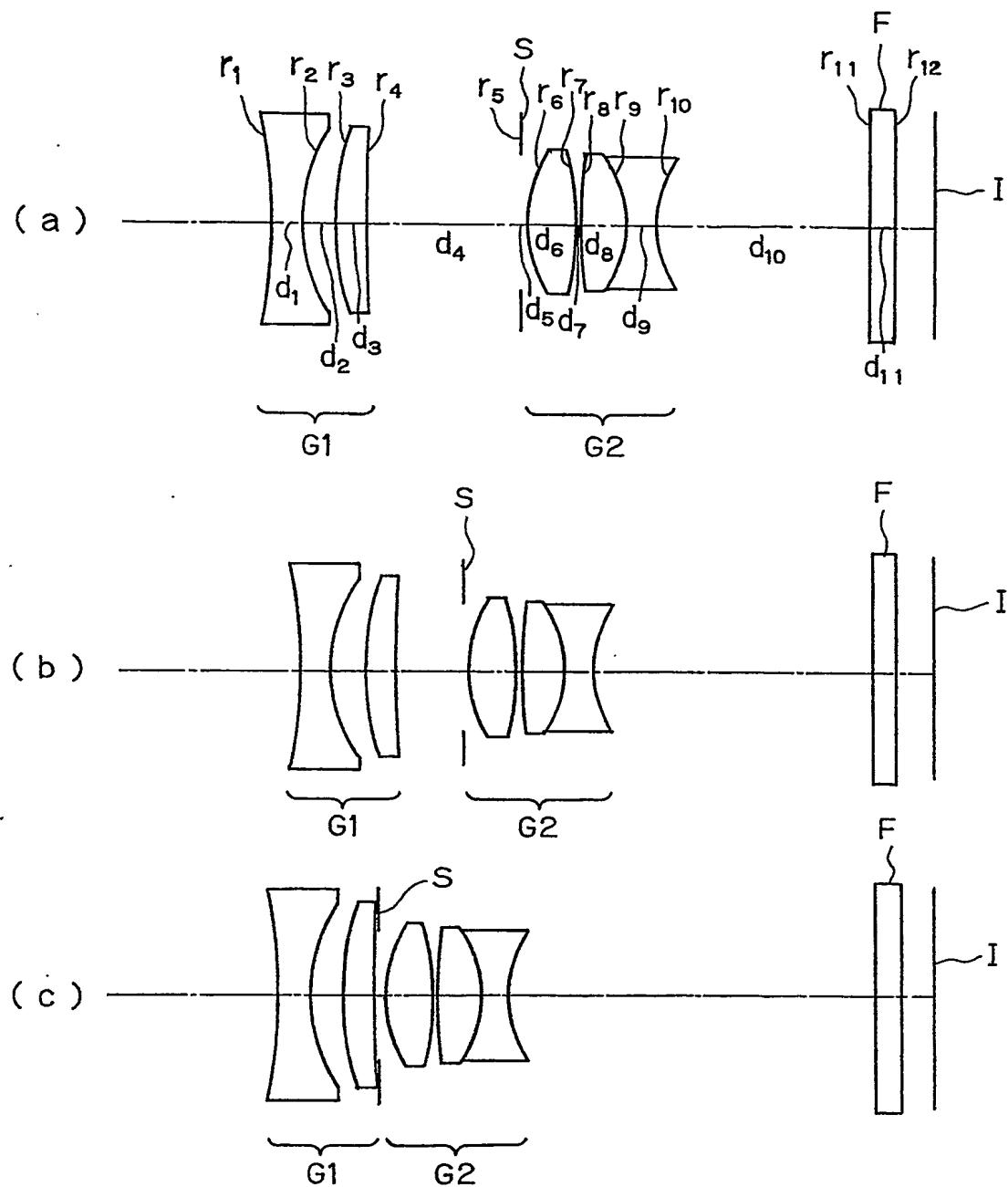
(b)



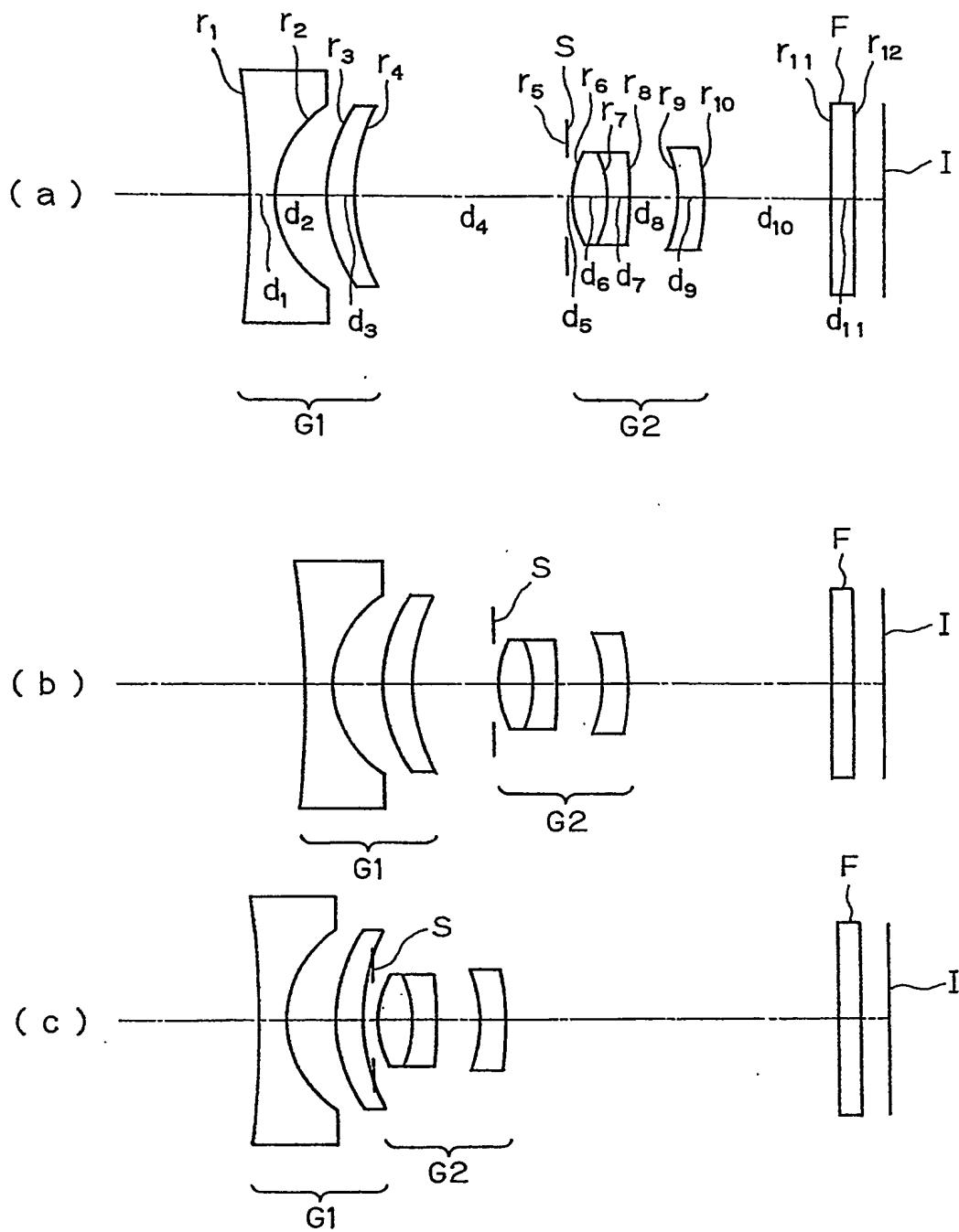
第6図



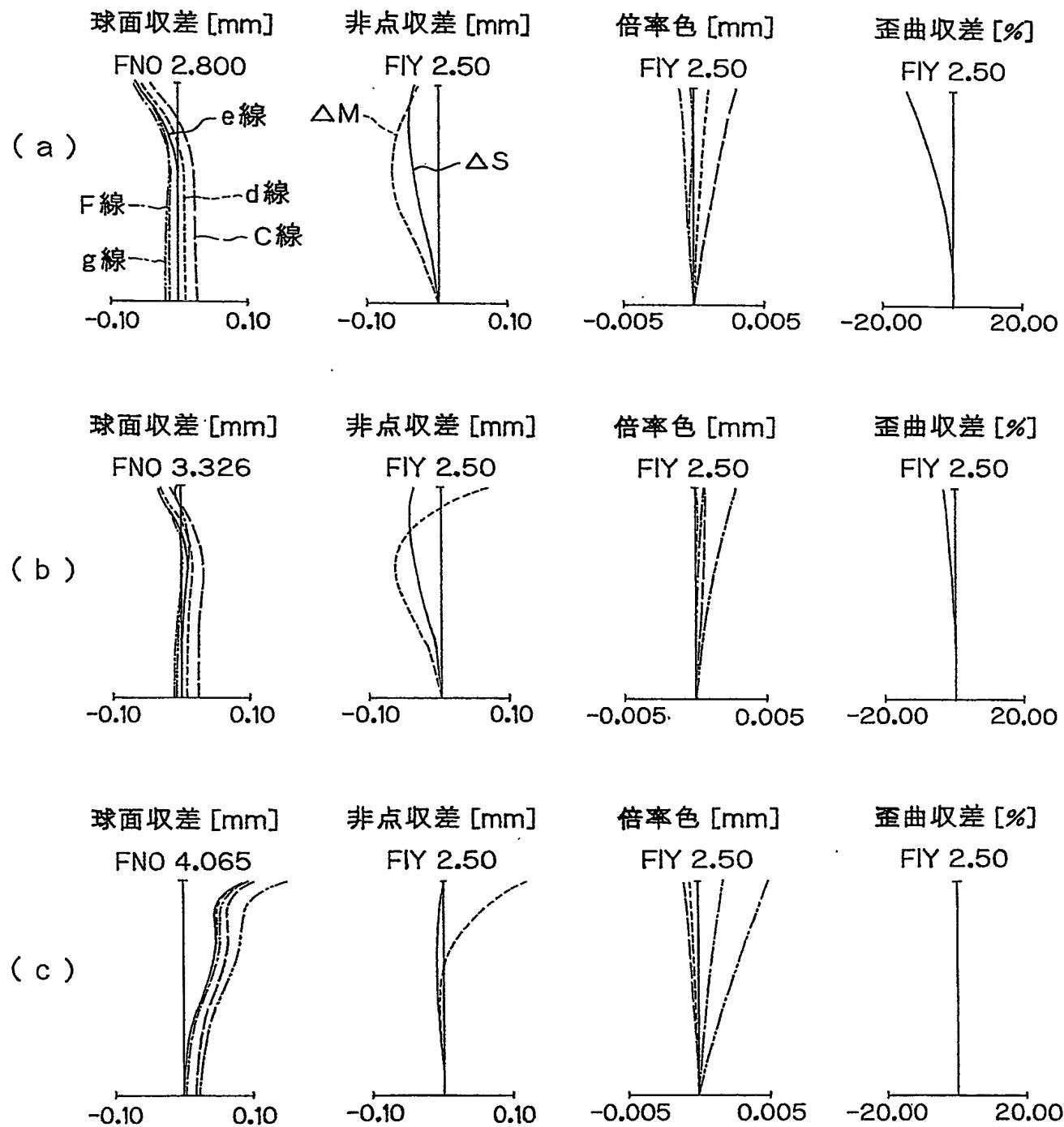
第 7 図



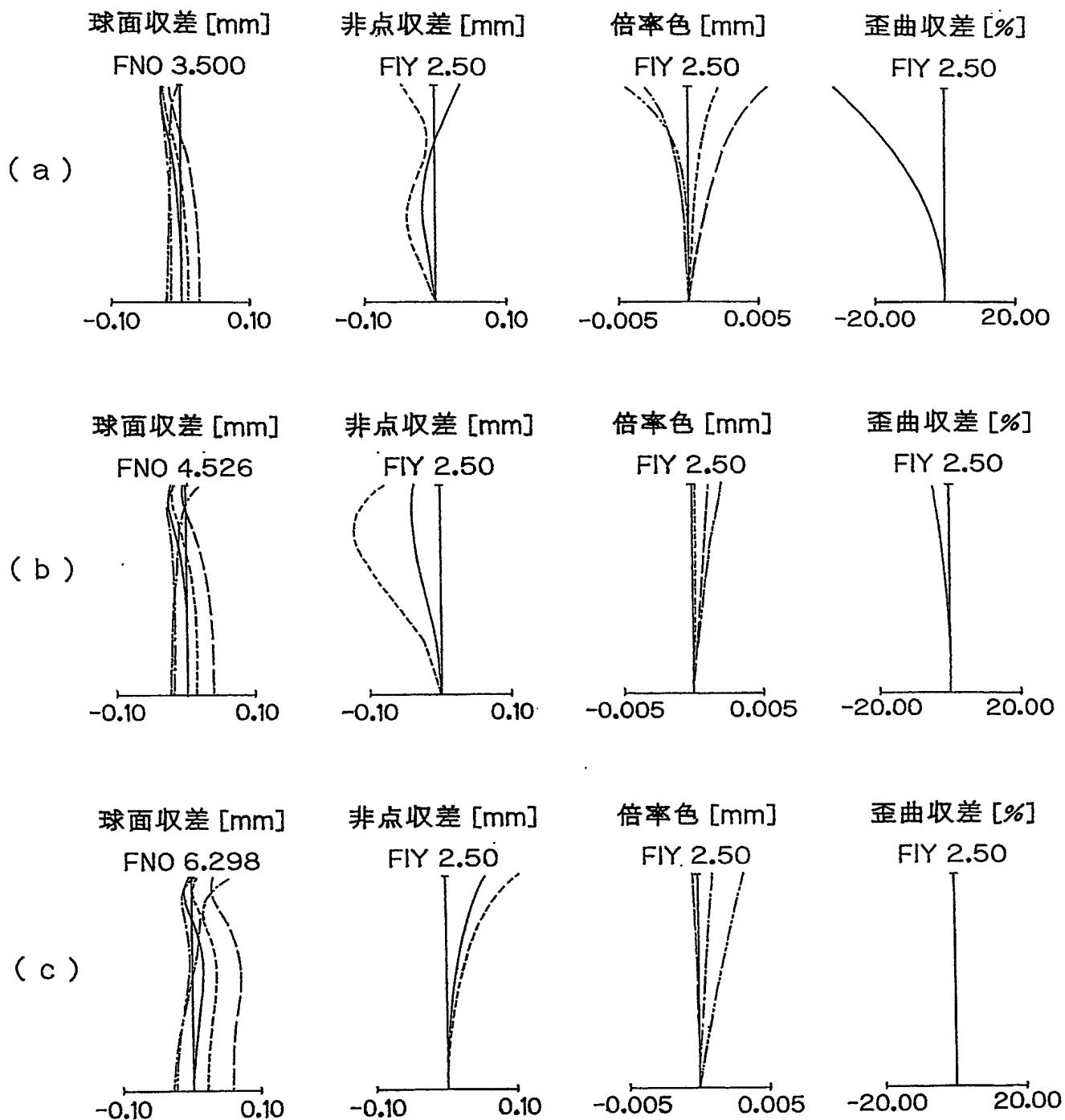
第 8 図



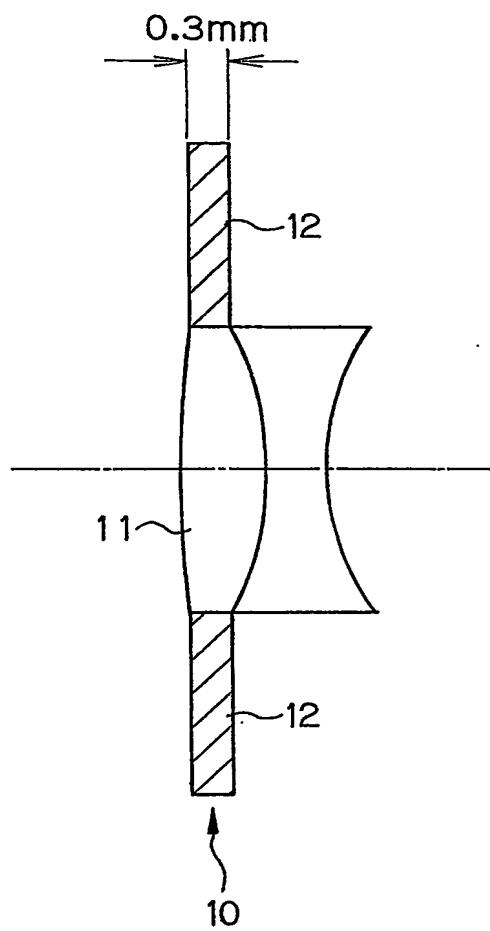
第9図



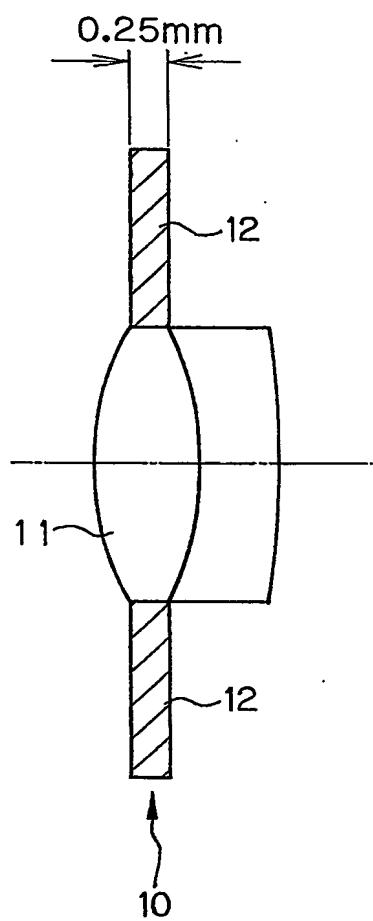
第 10 図



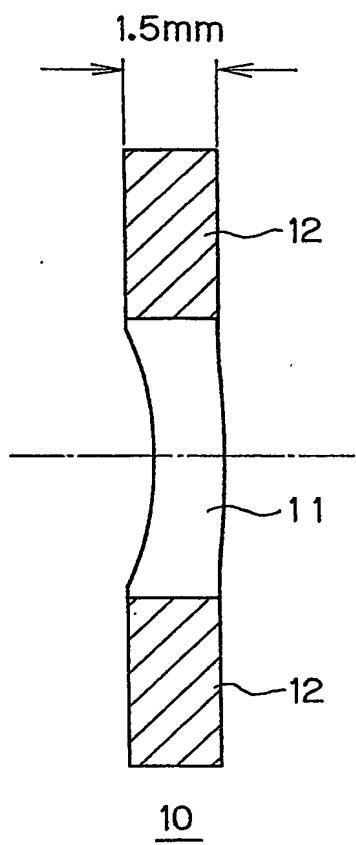
第 11 図



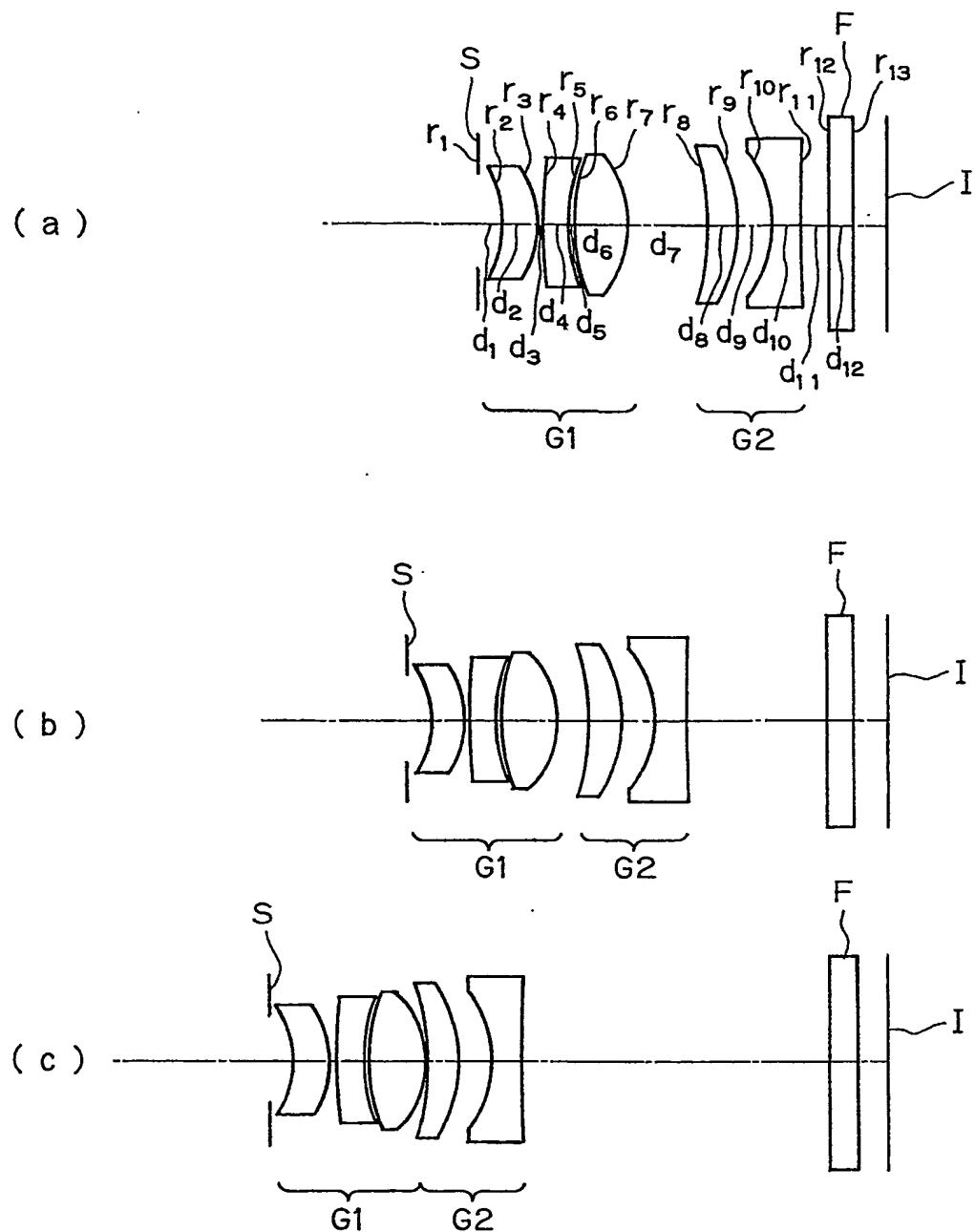
第12図



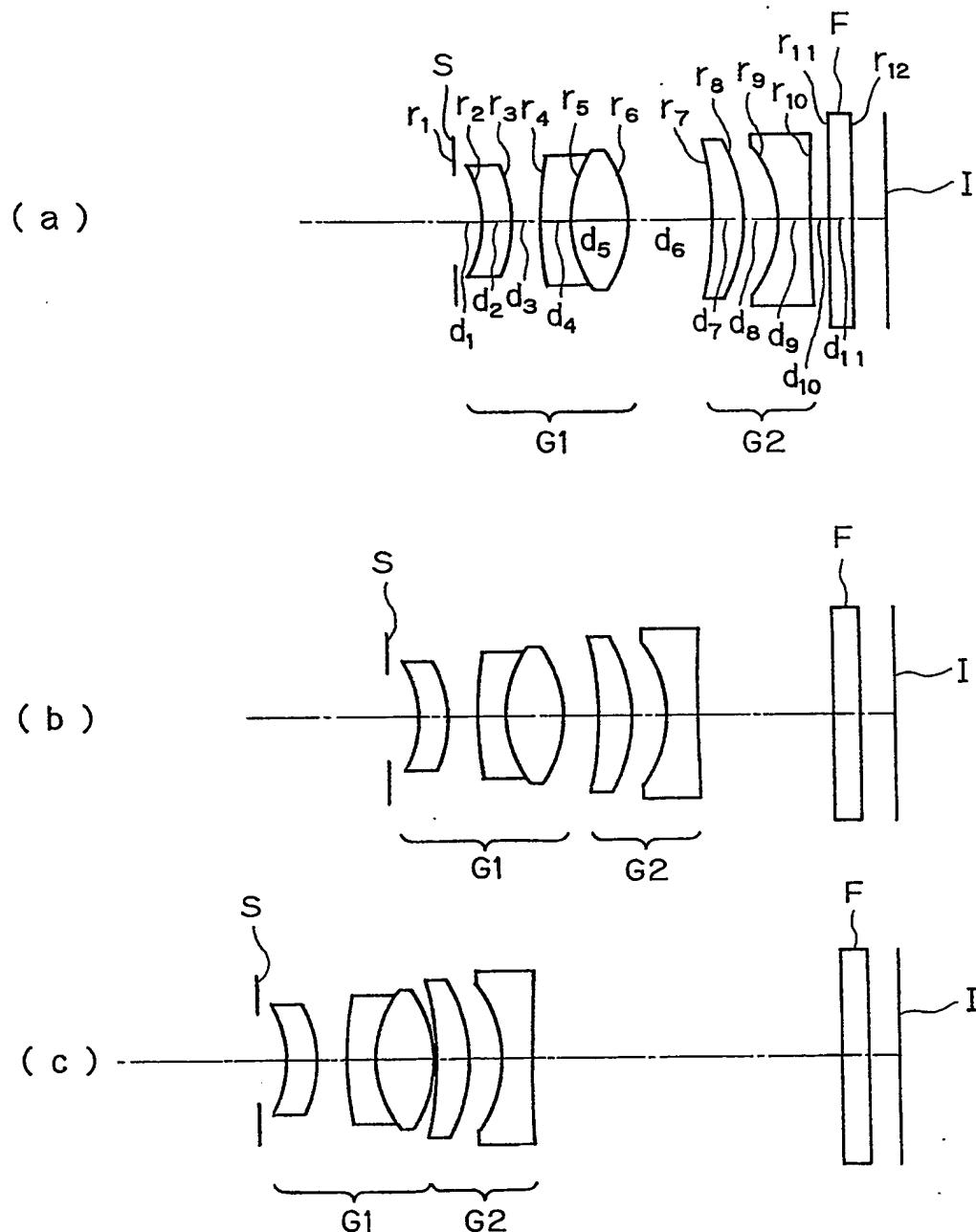
第 13 図



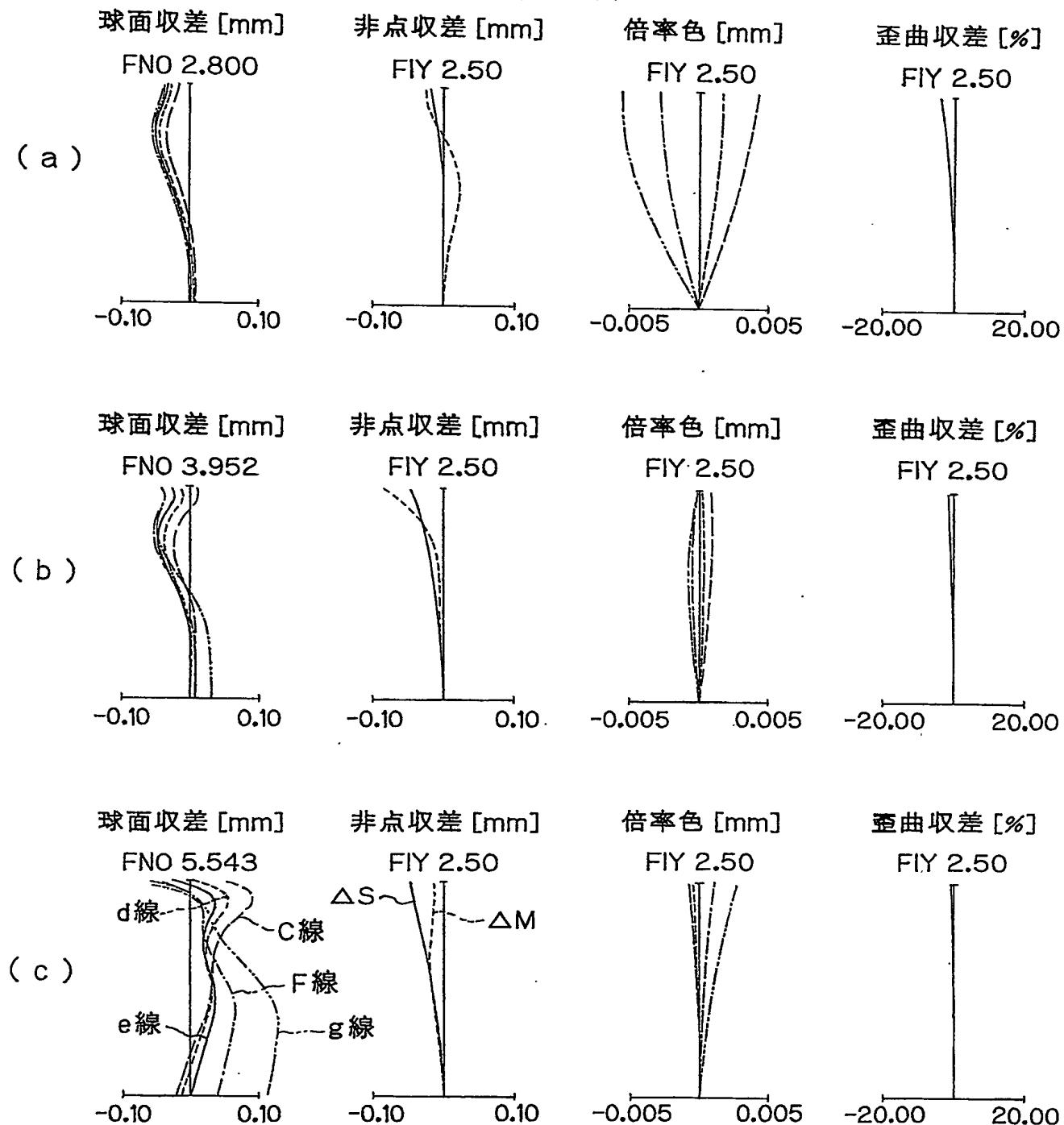
第14図



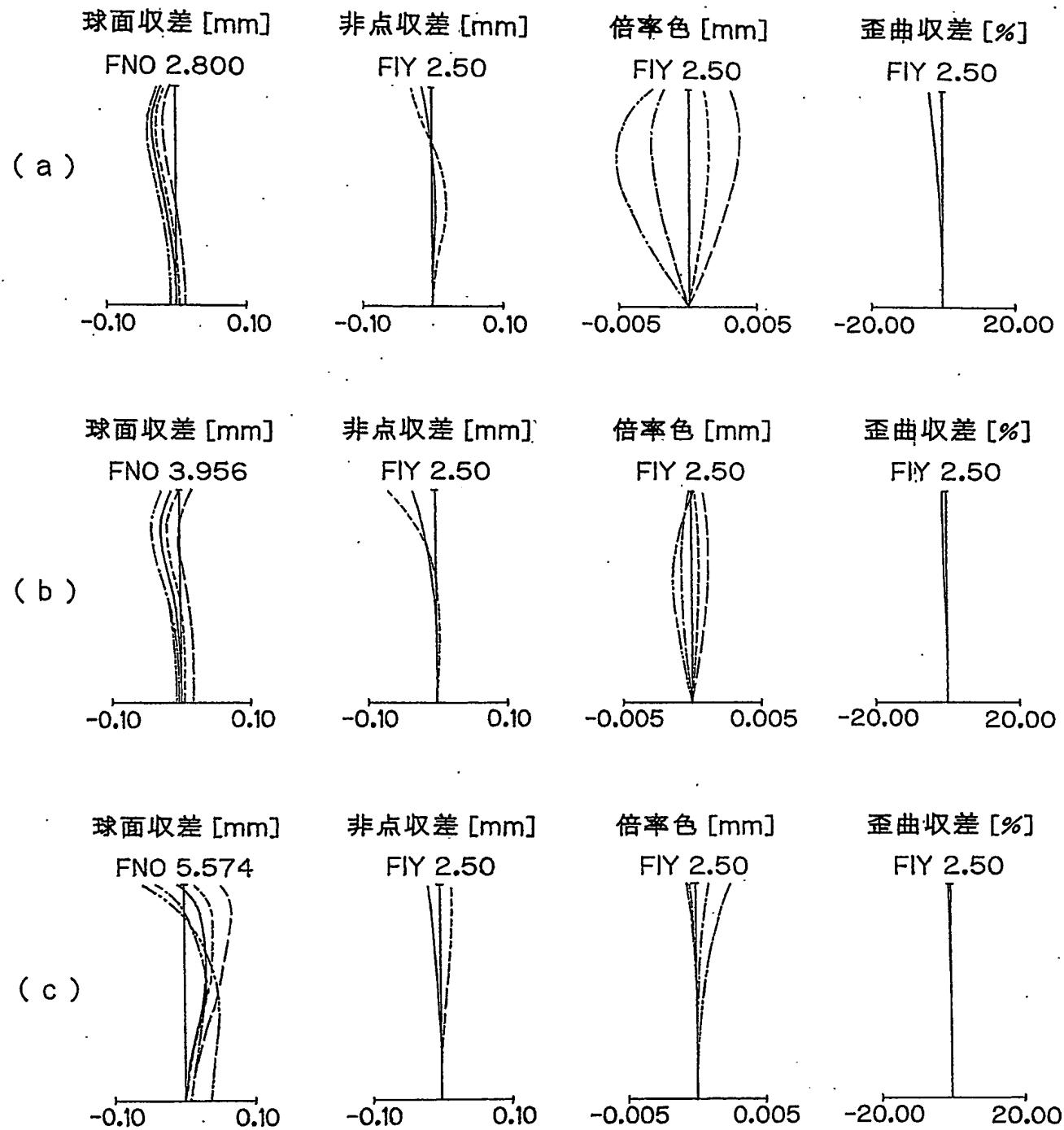
第 15 図



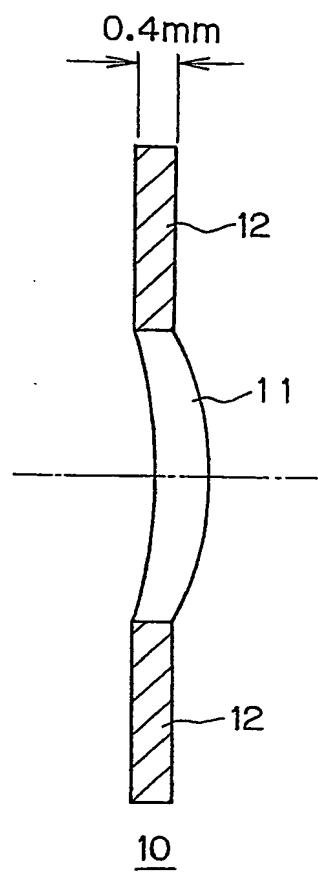
第16図



第 17 図

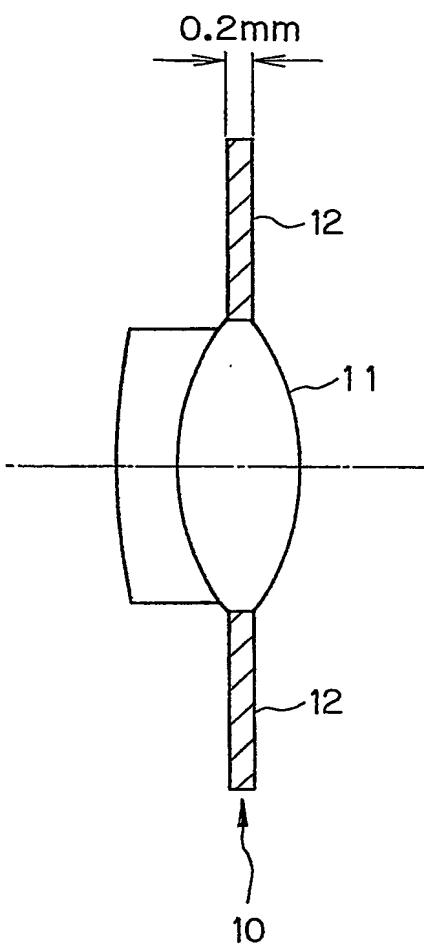


第18図

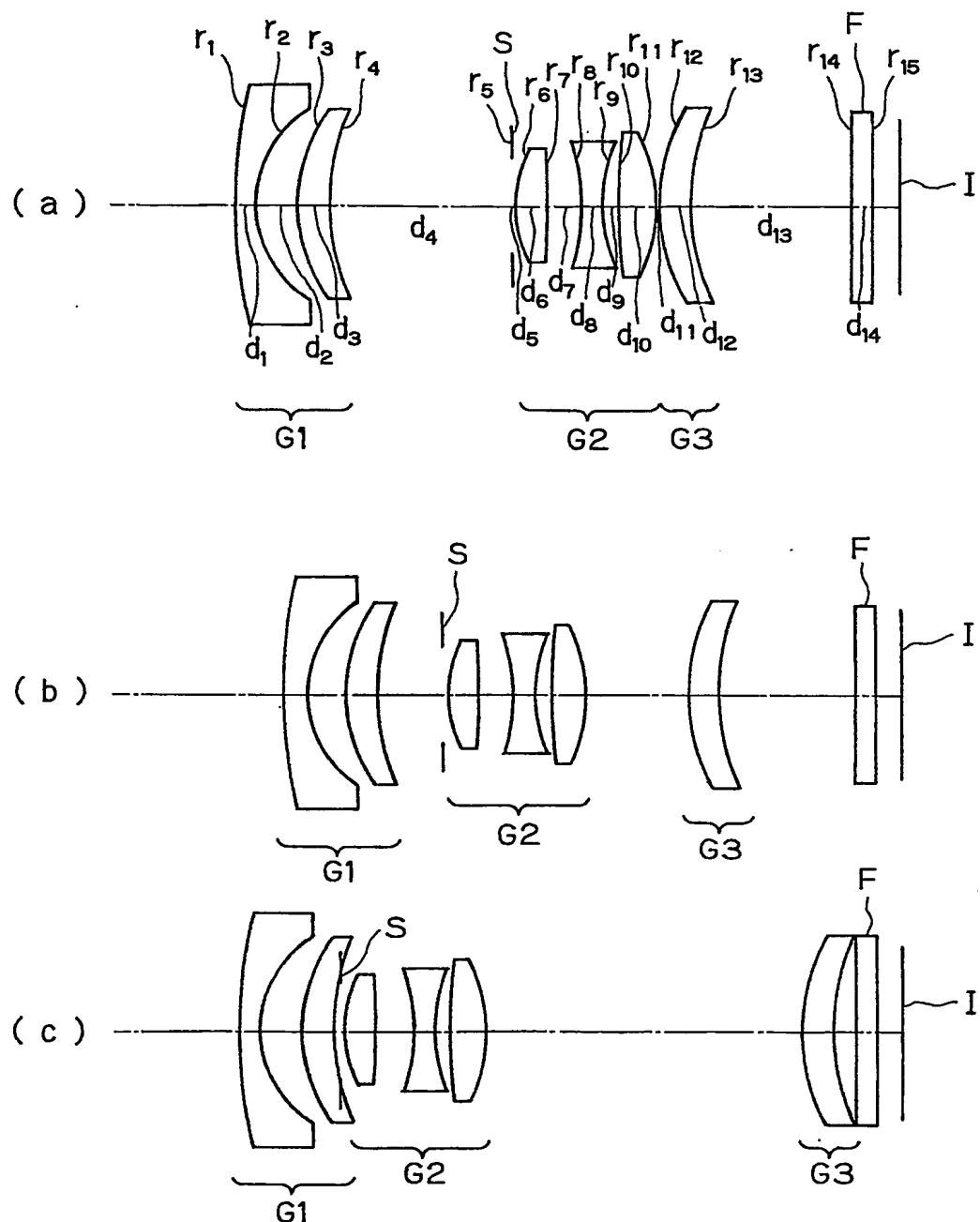


10

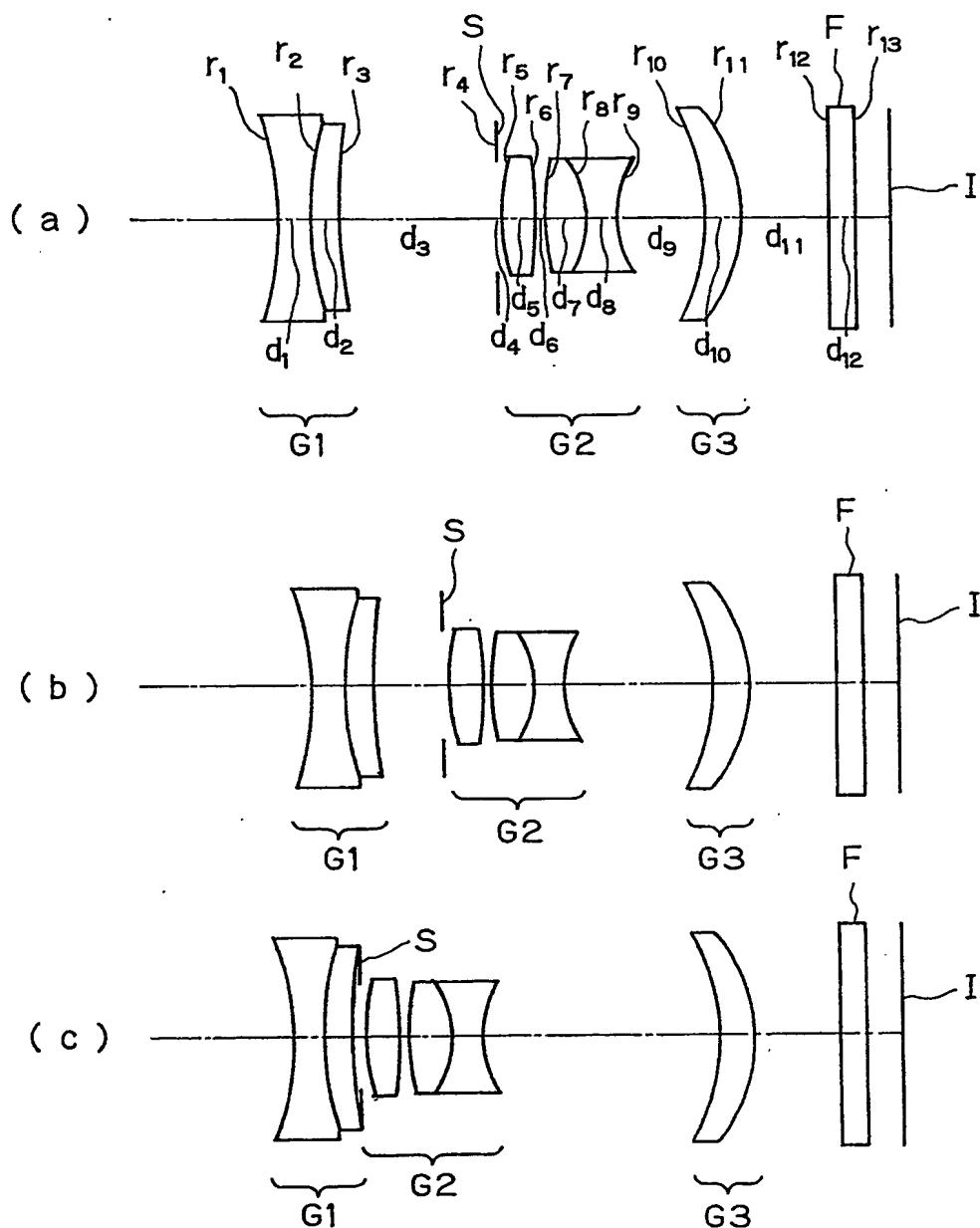
第 19 図



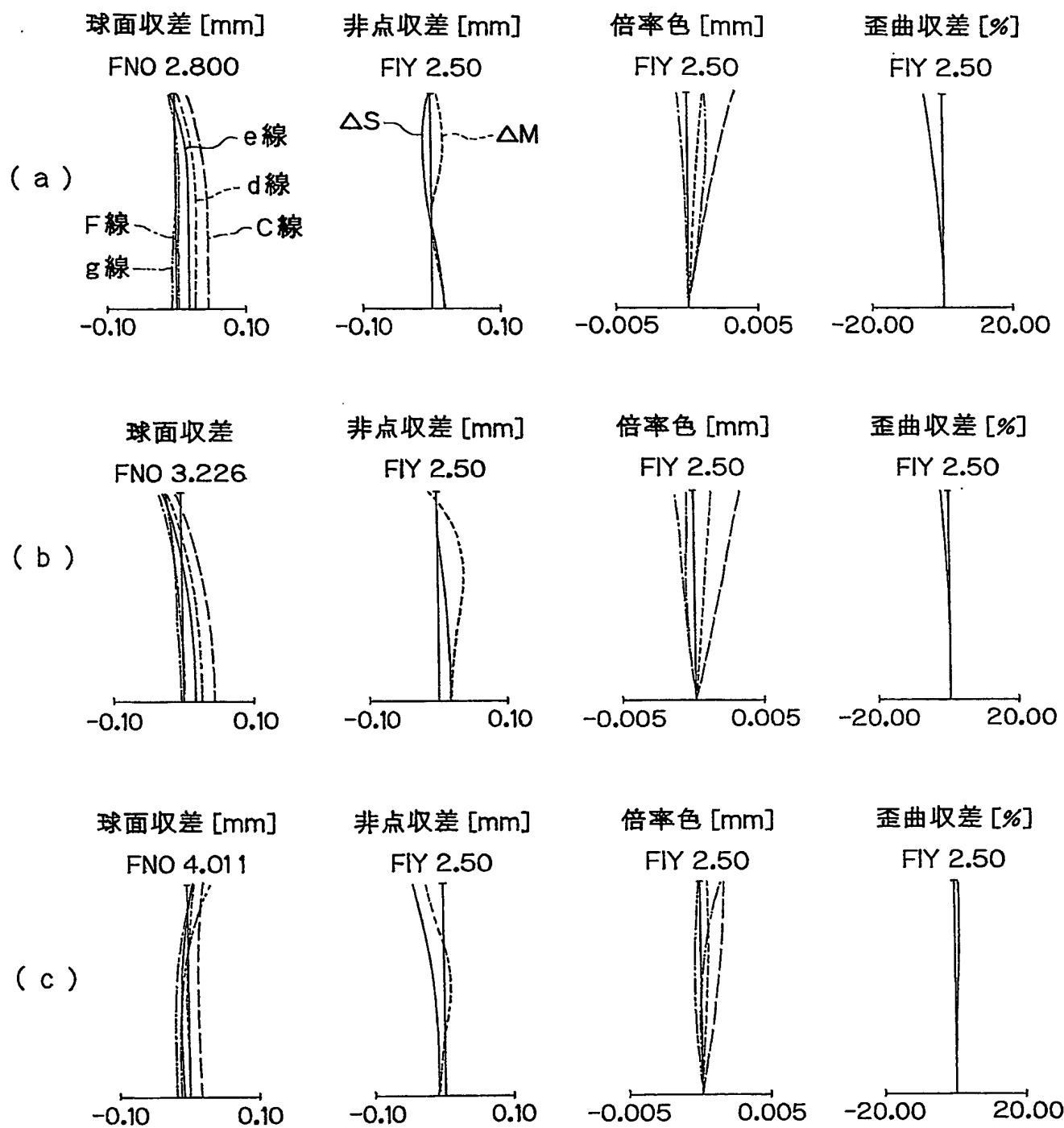
第 20 図



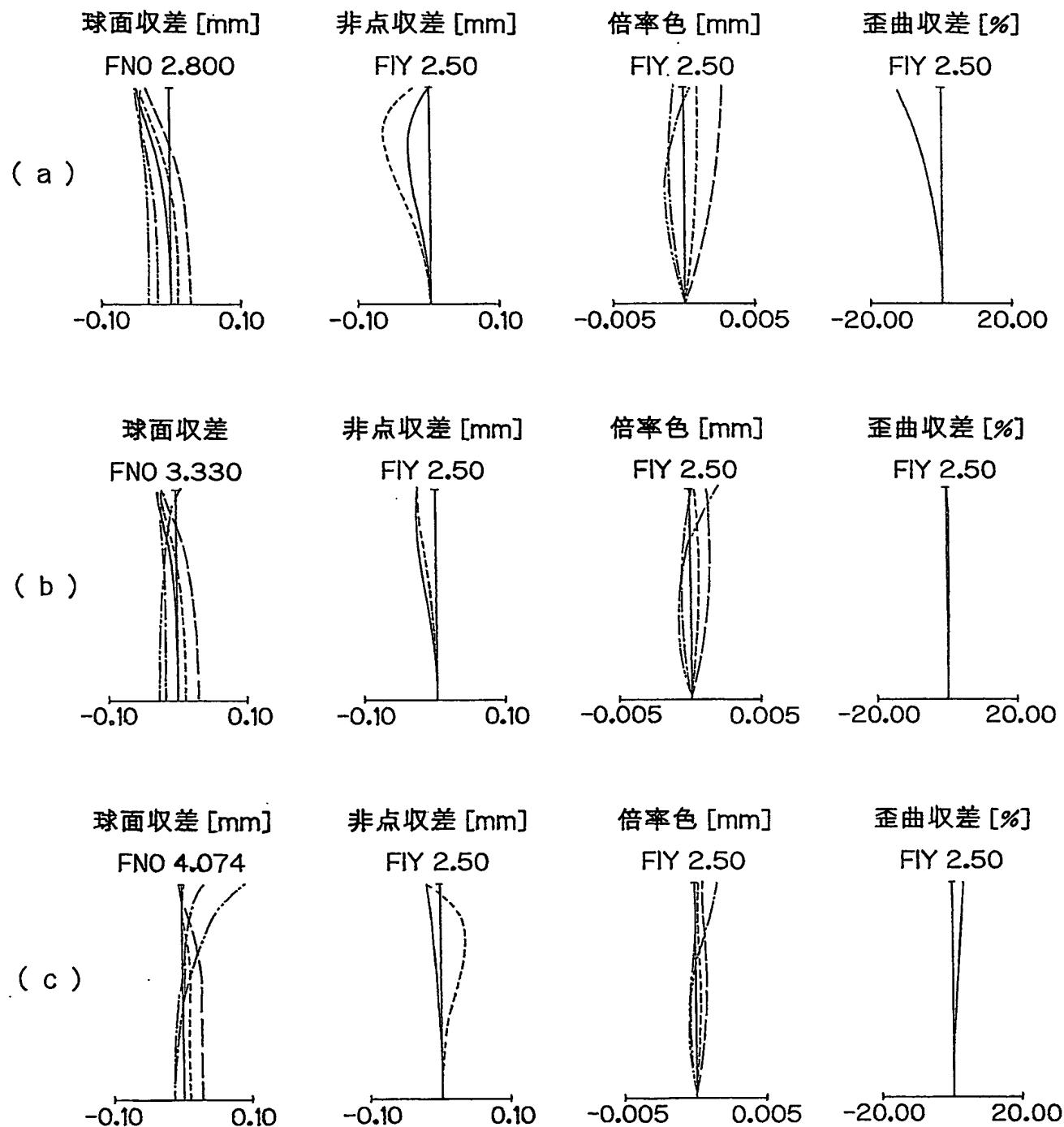
第 2 1 図



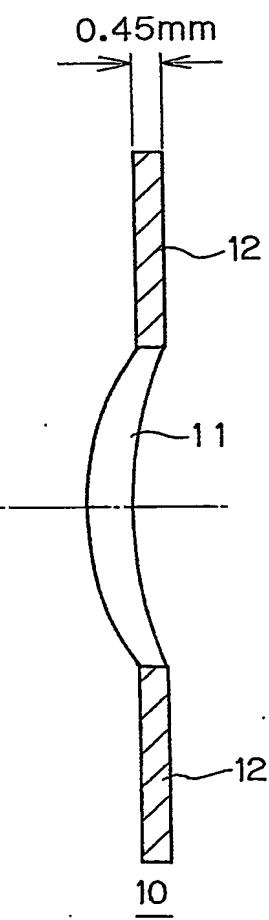
第 22 図



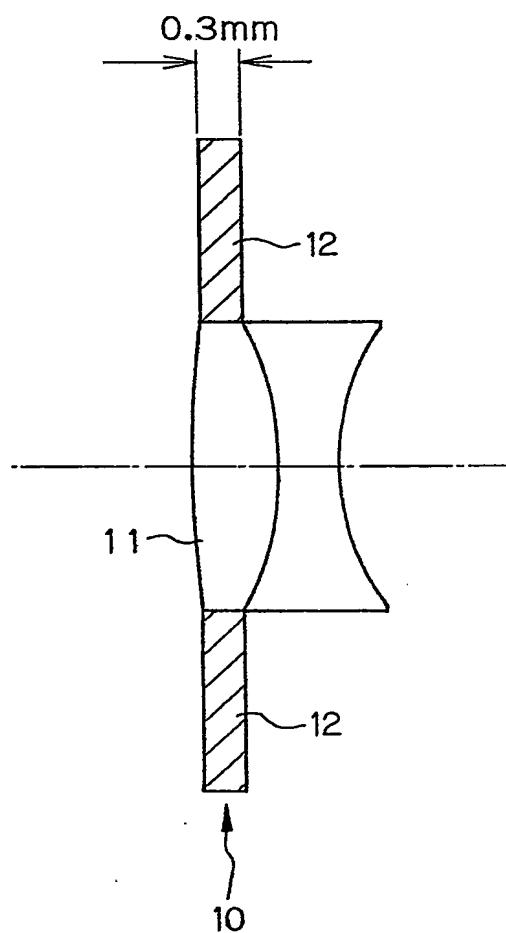
第 23 図



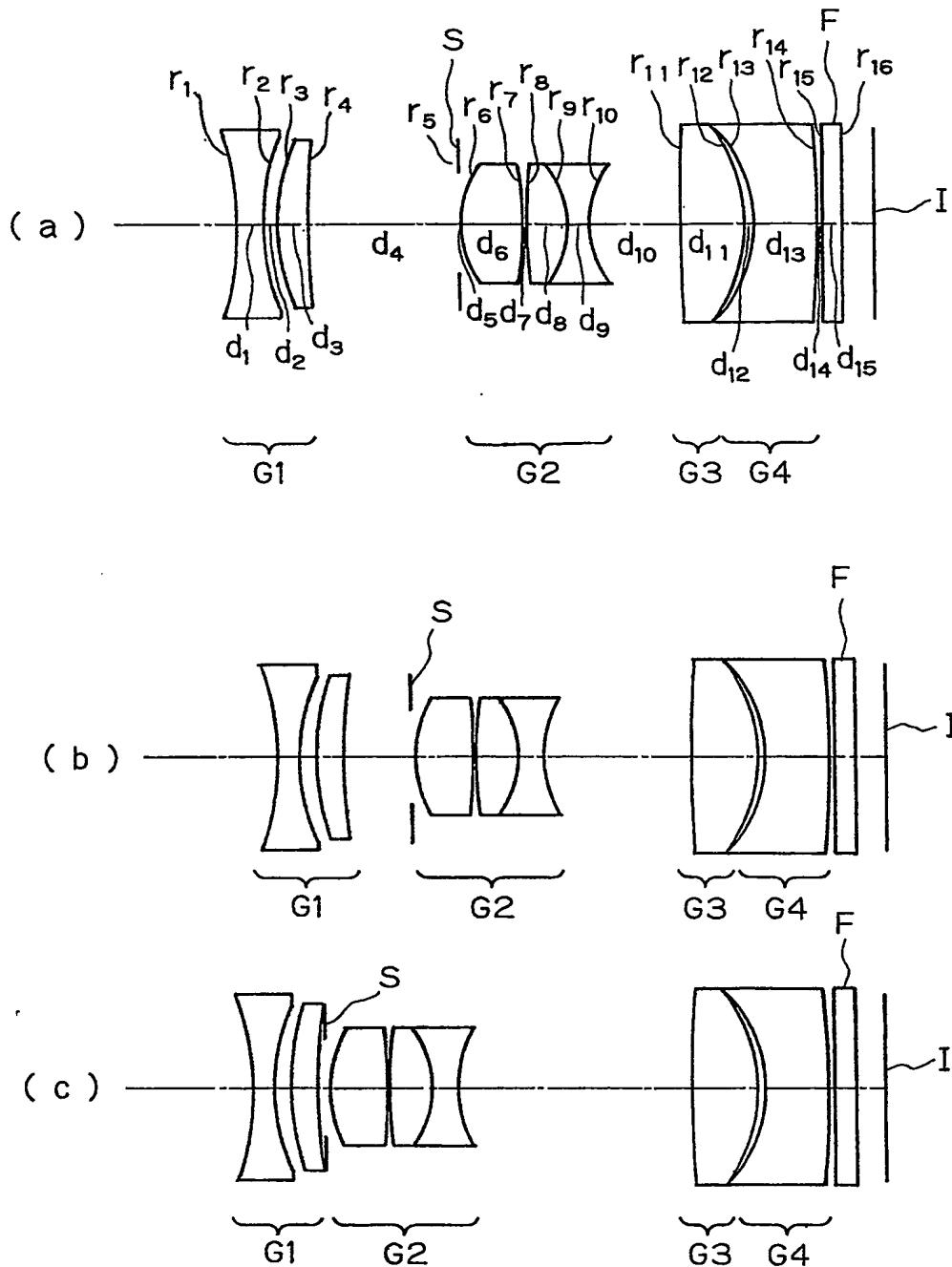
第 24 図



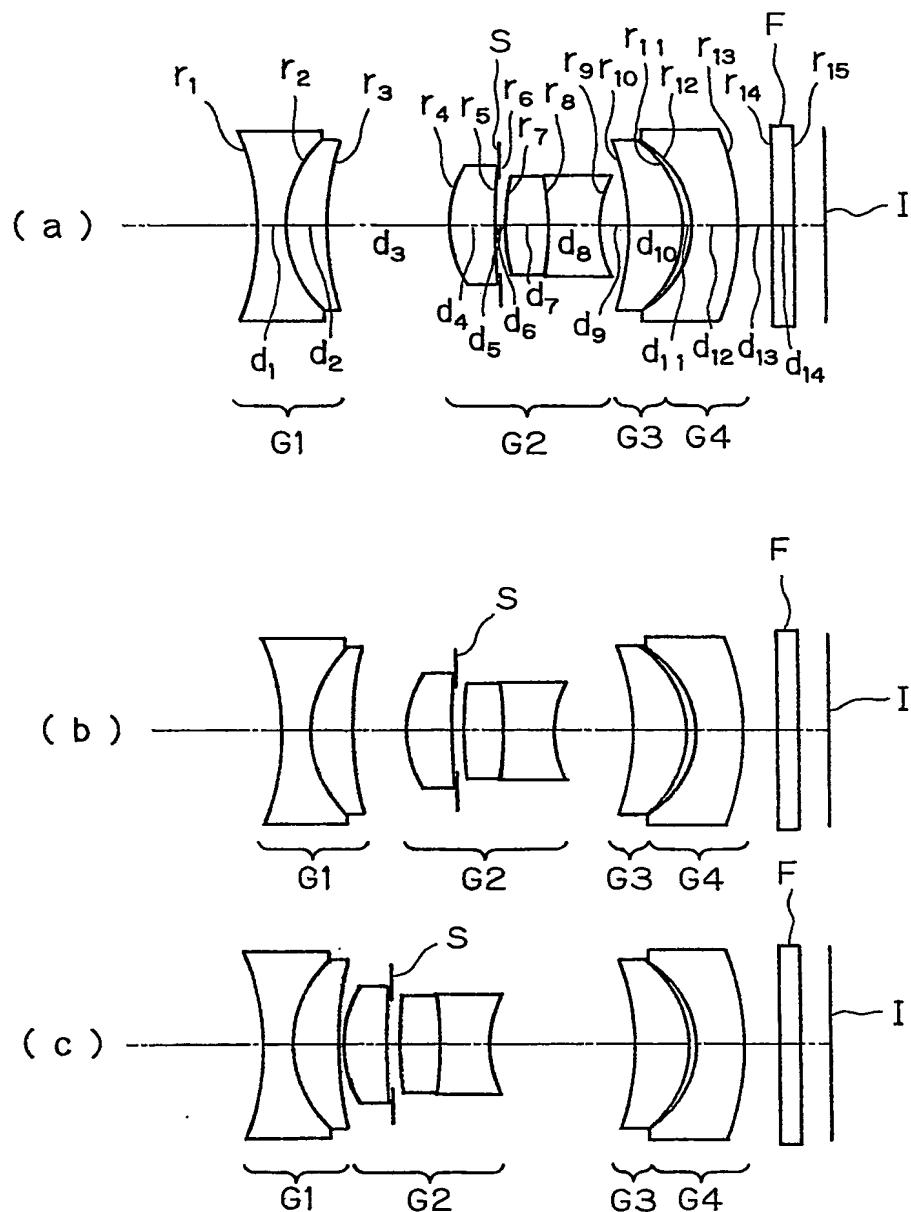
第 25 図



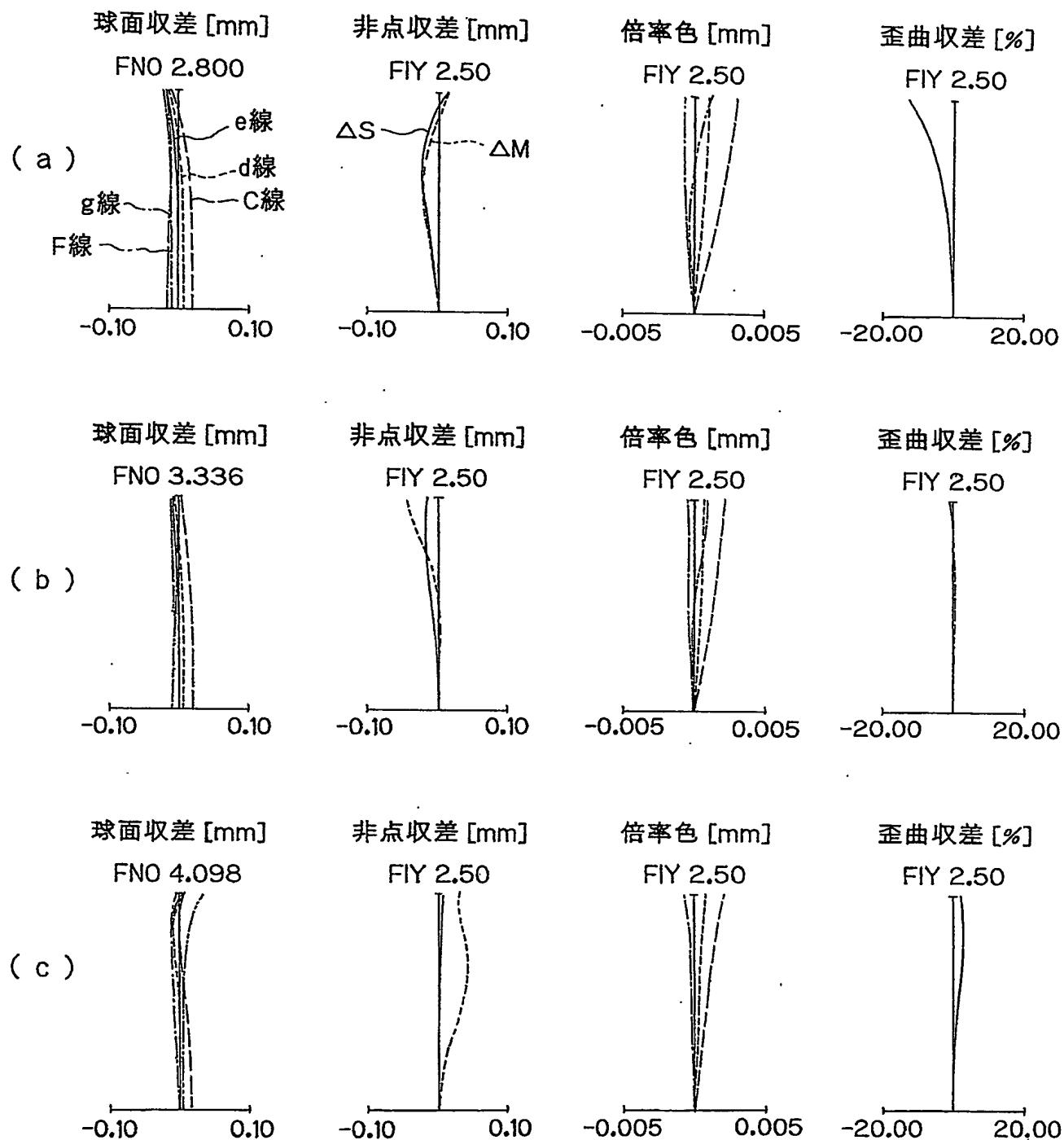
第 26 図



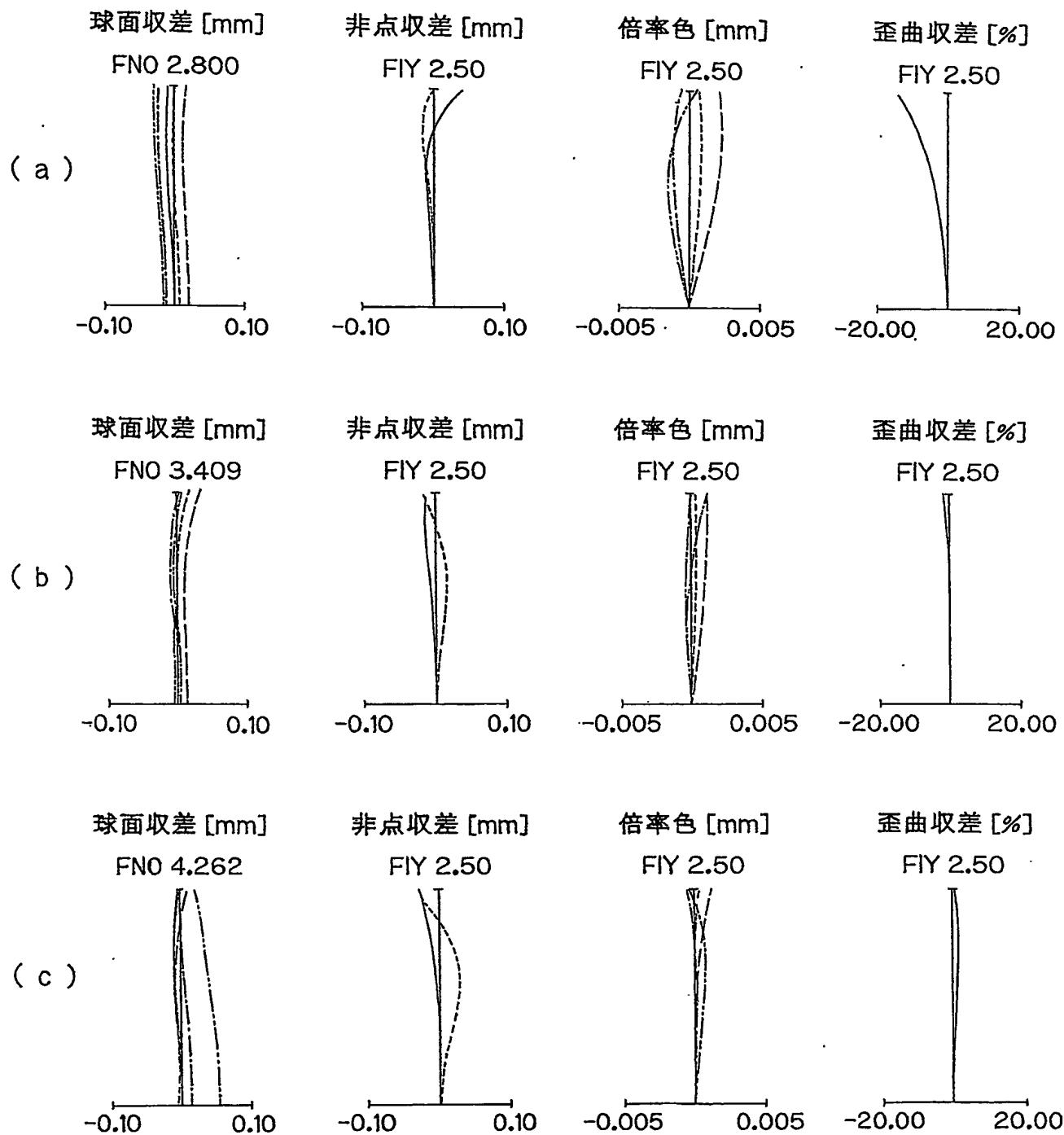
第 27 図



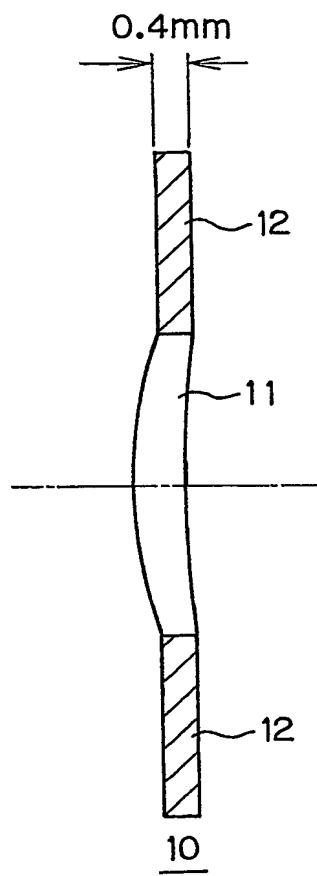
第 28 図



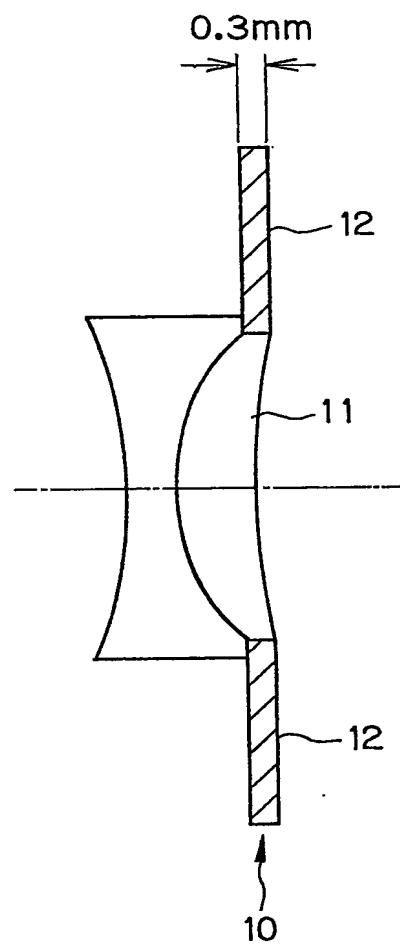
第 29 図



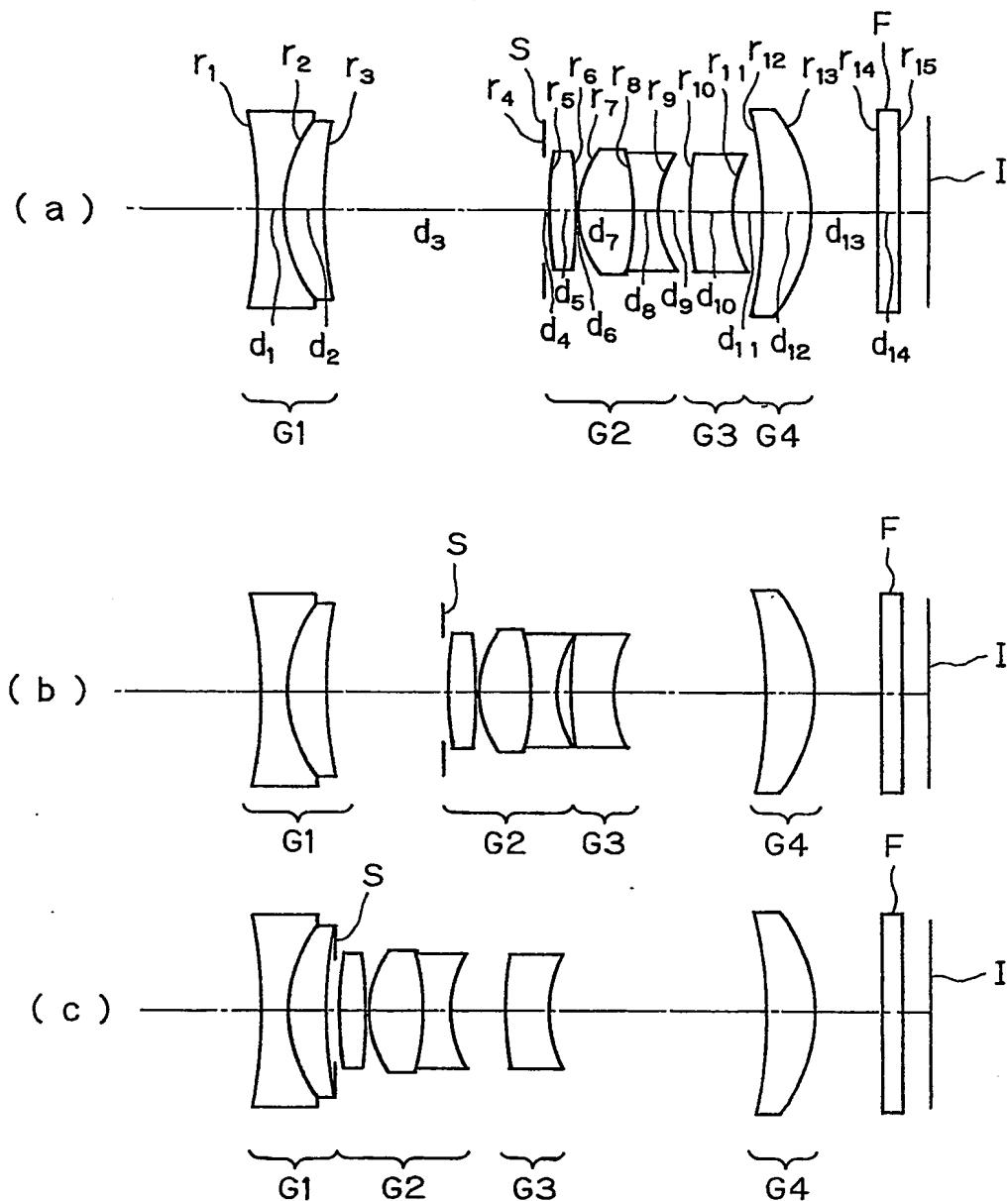
第30図



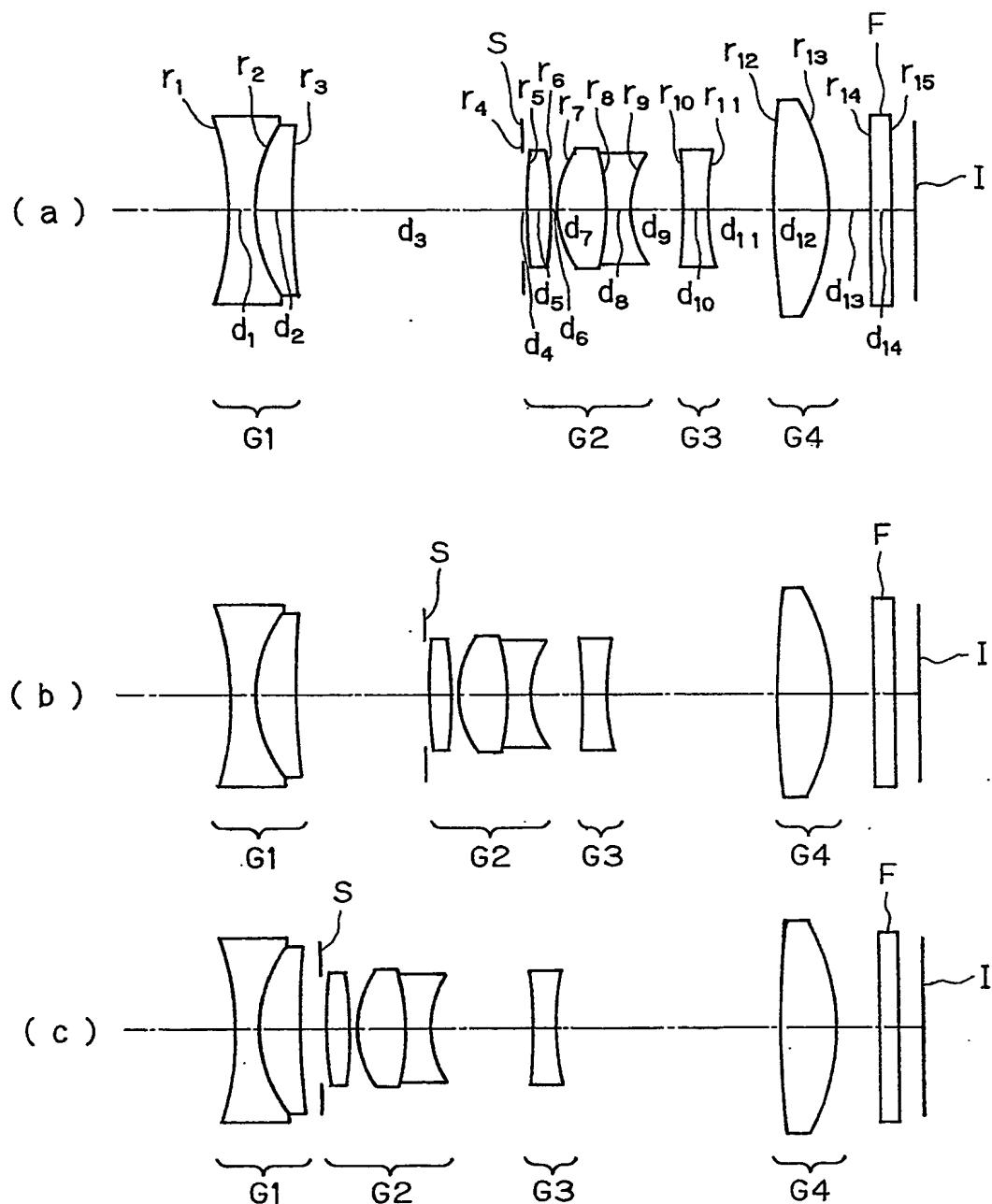
第31図



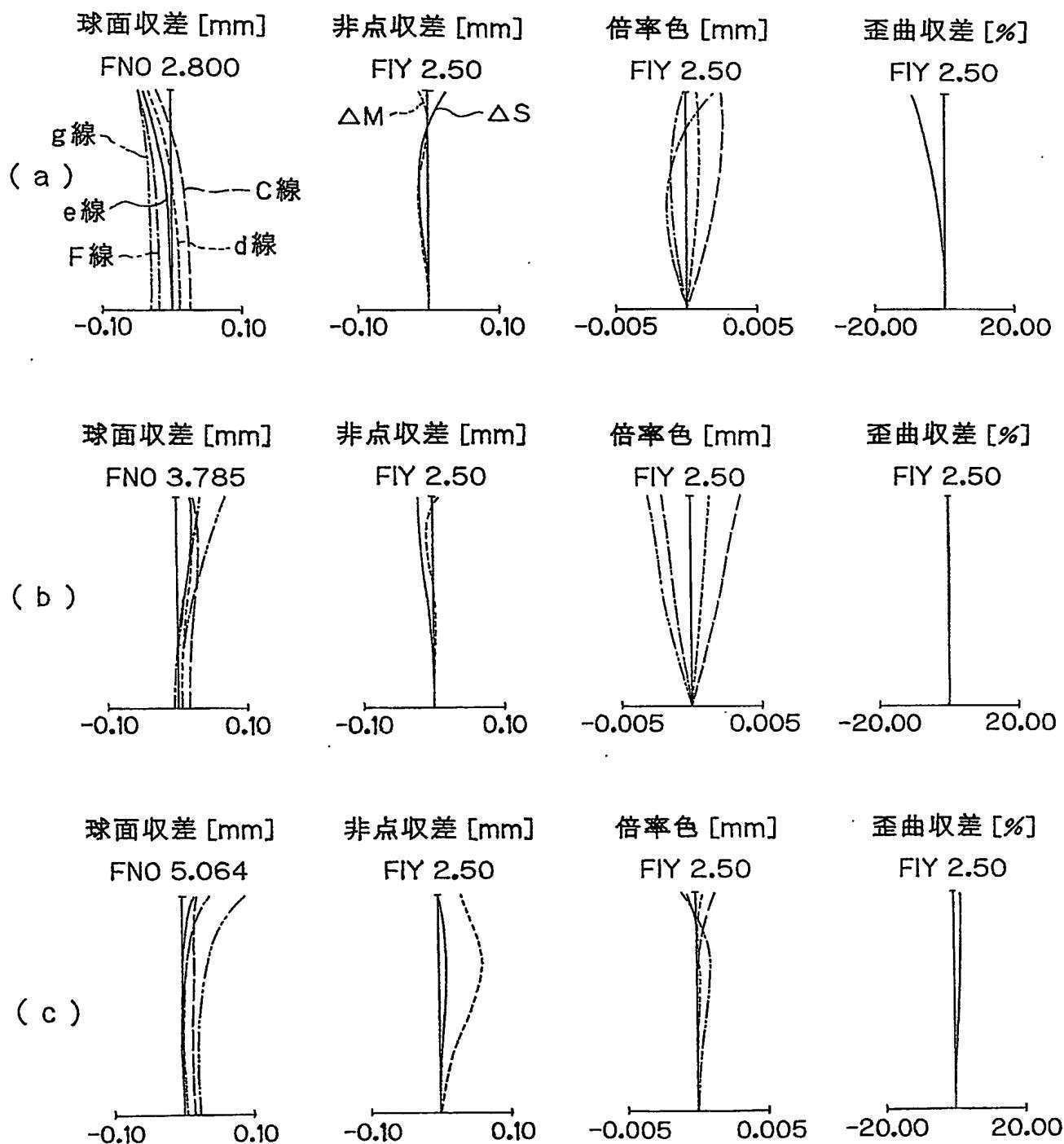
第32図



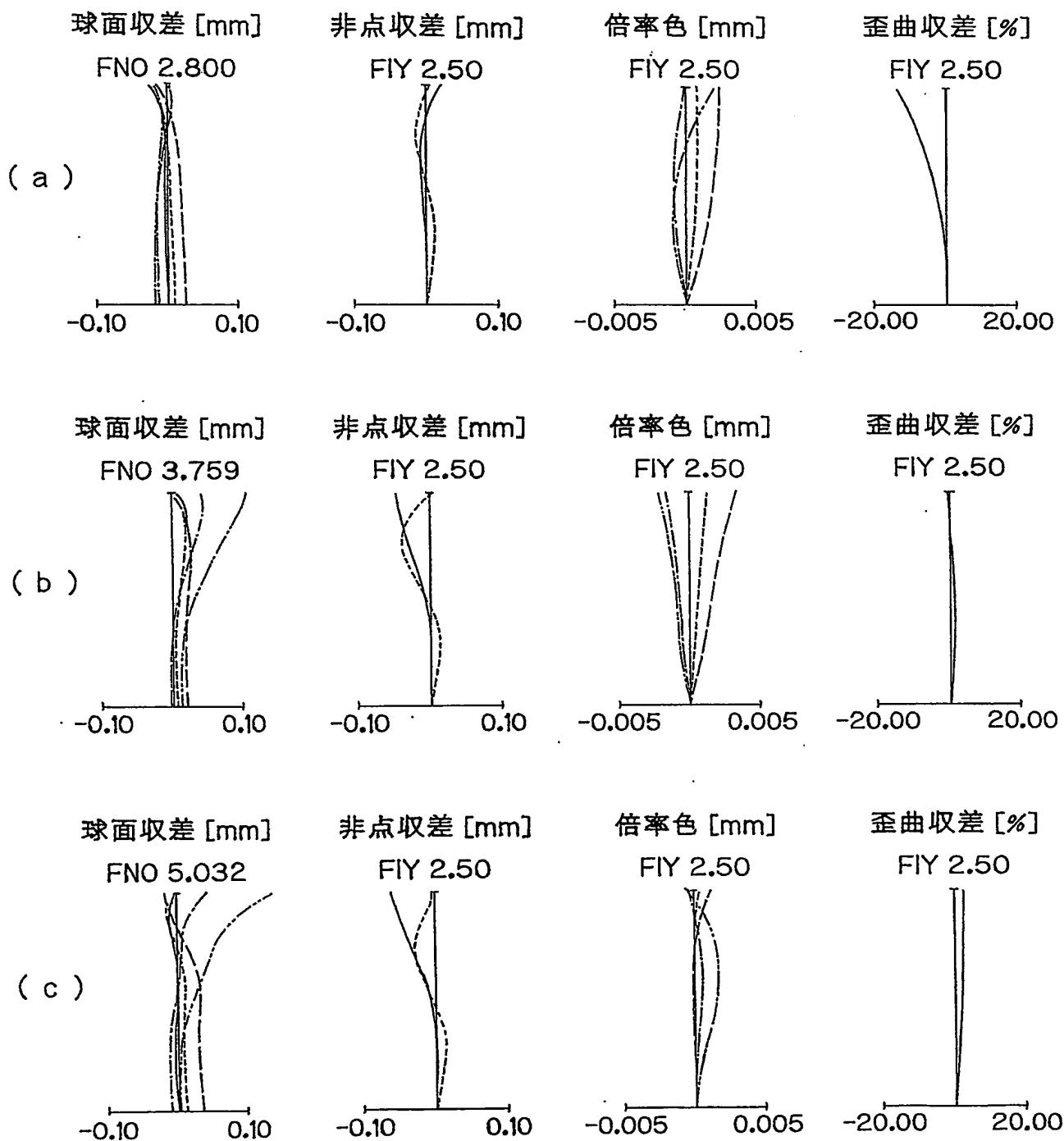
第33図



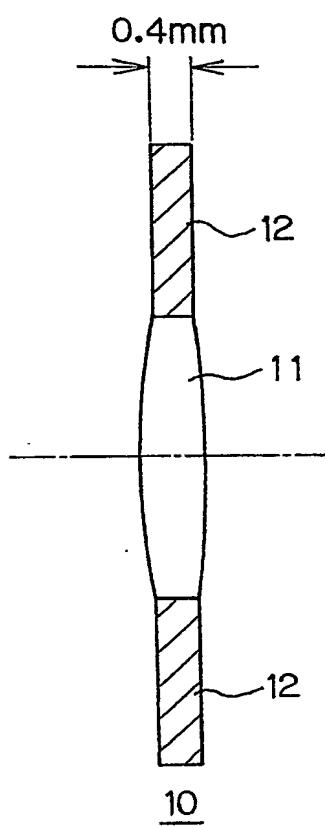
第34図



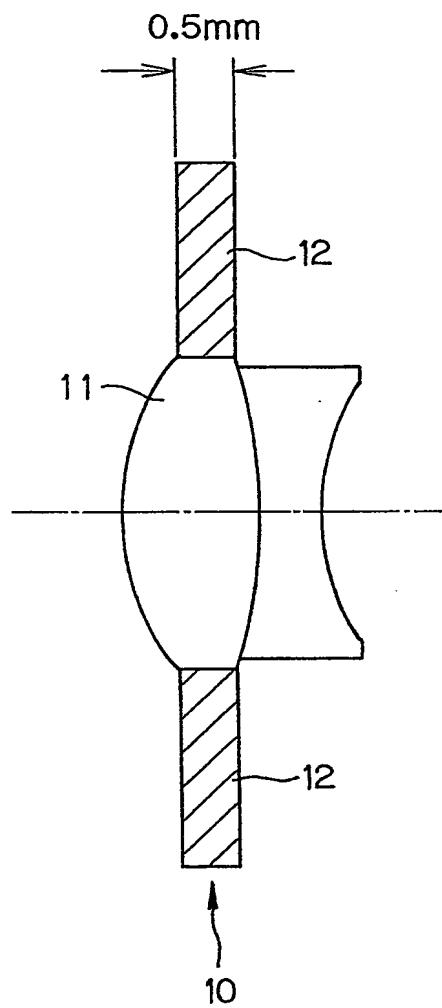
第35図



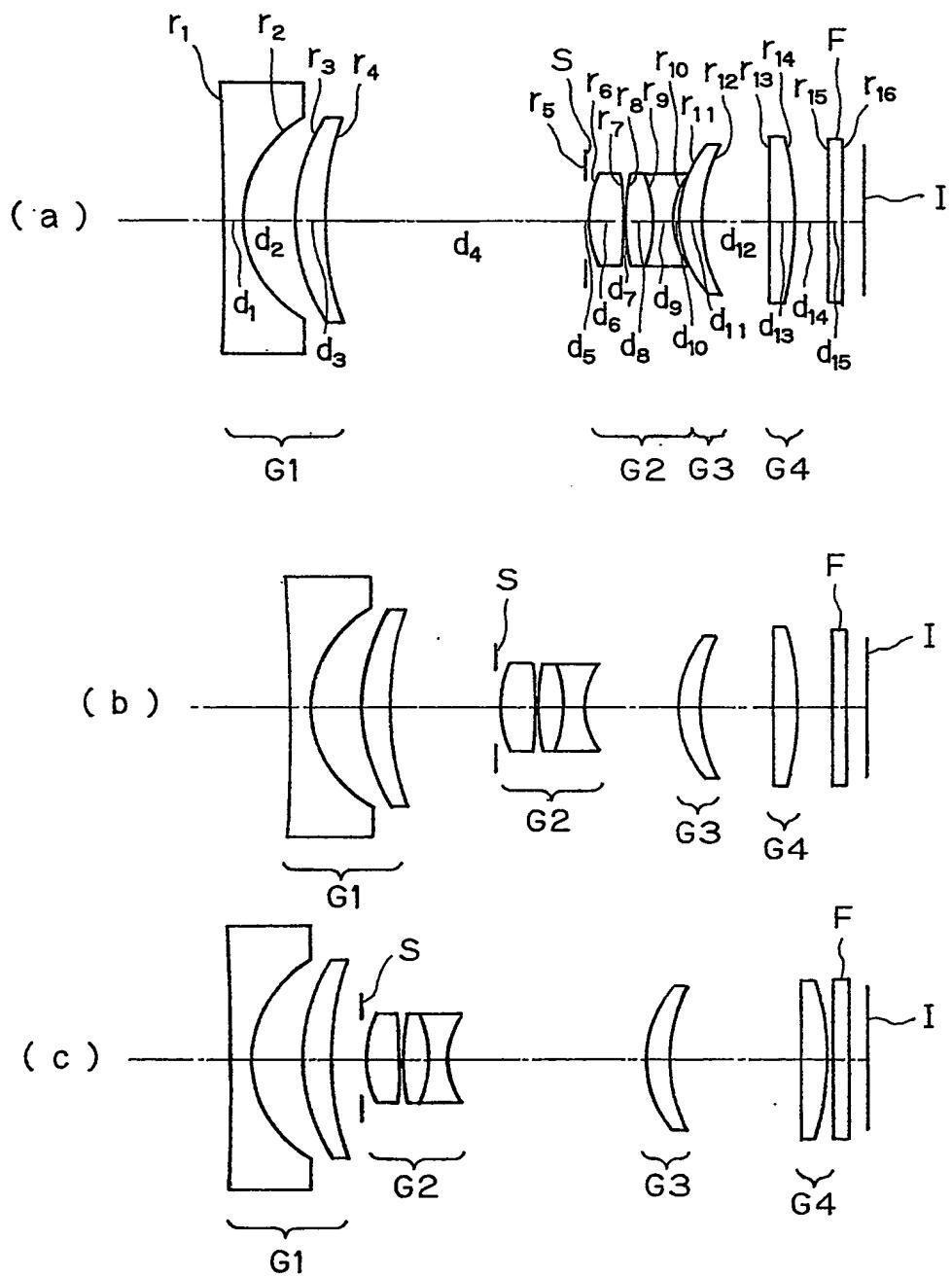
第36図



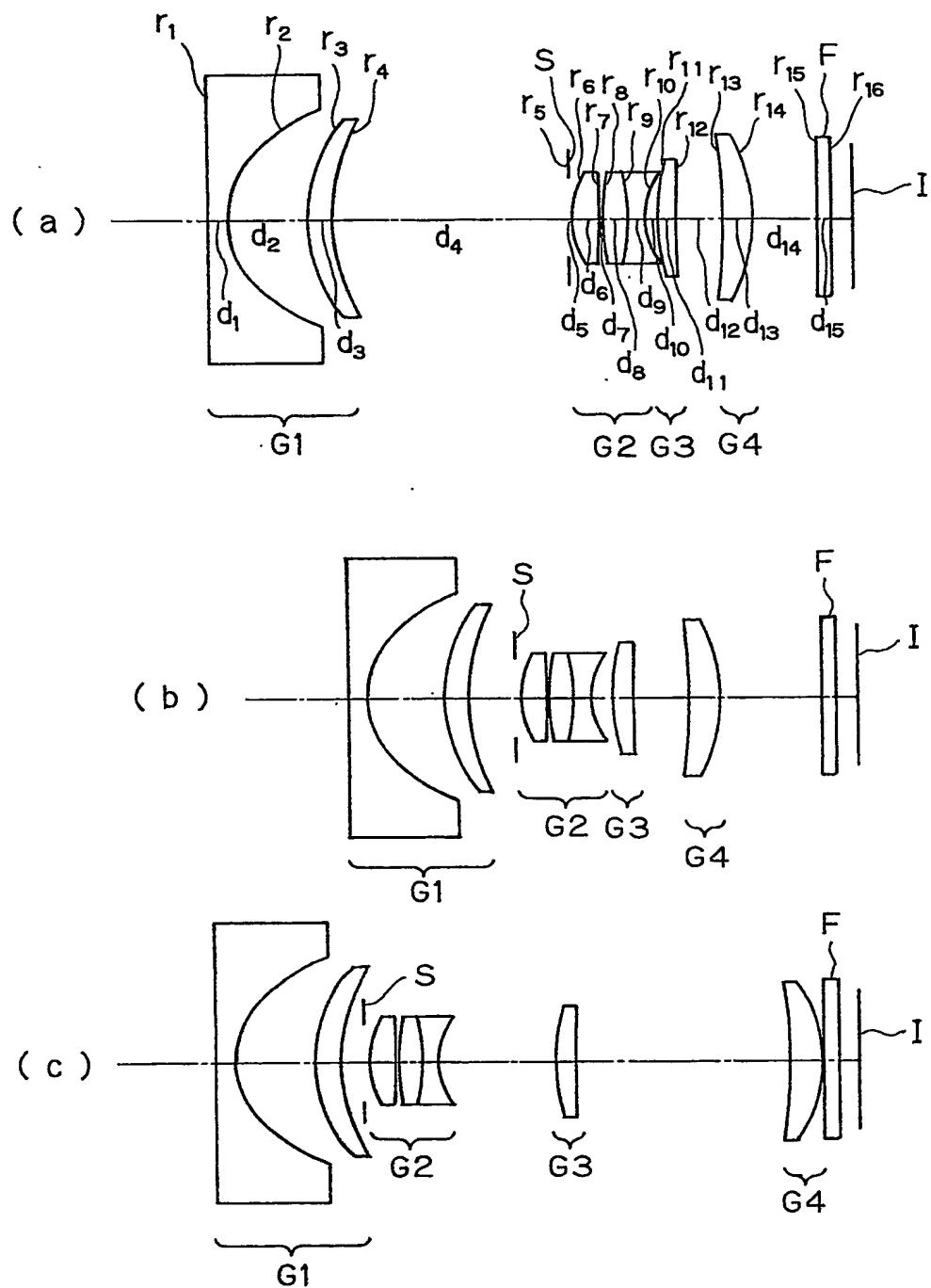
第37図



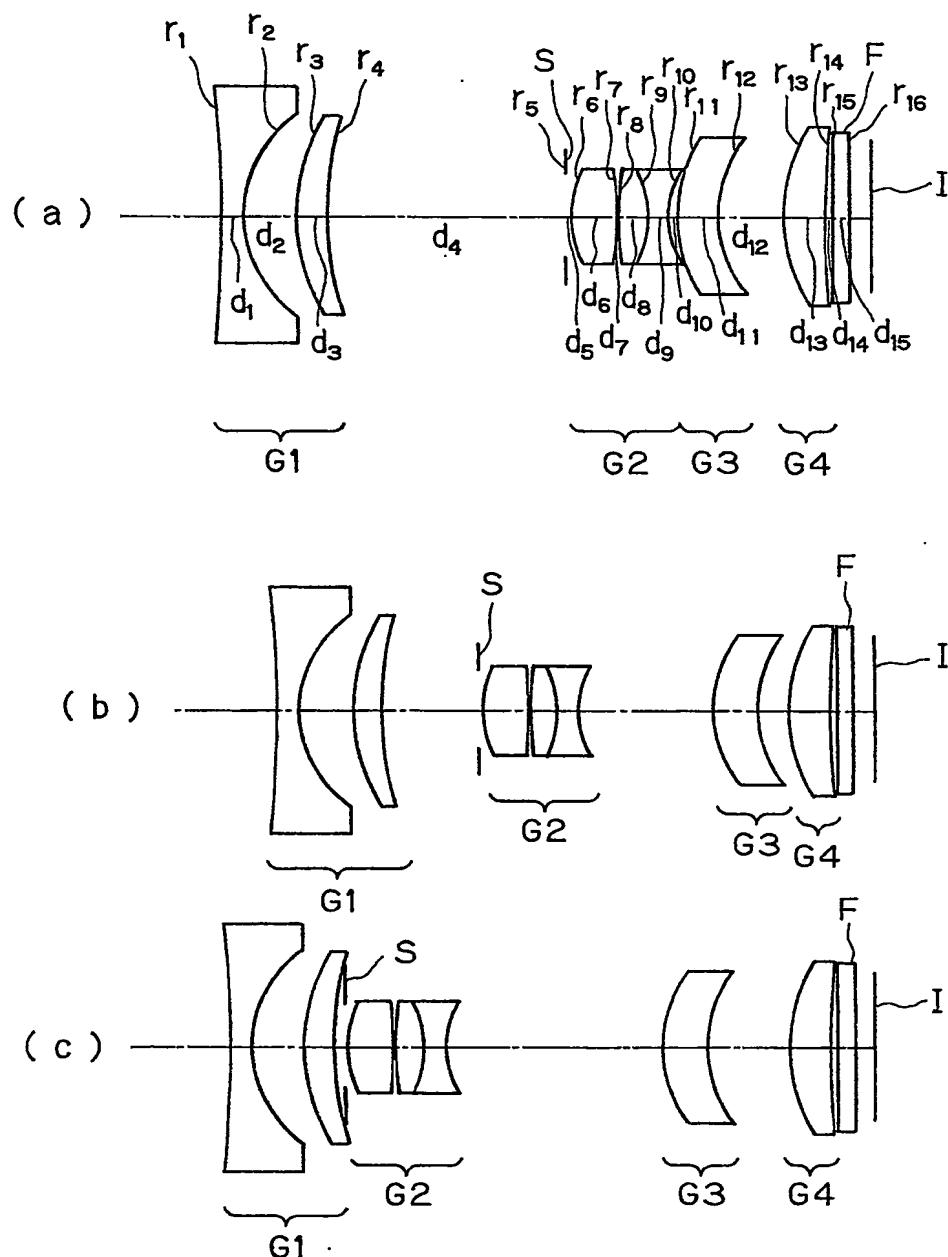
第38図



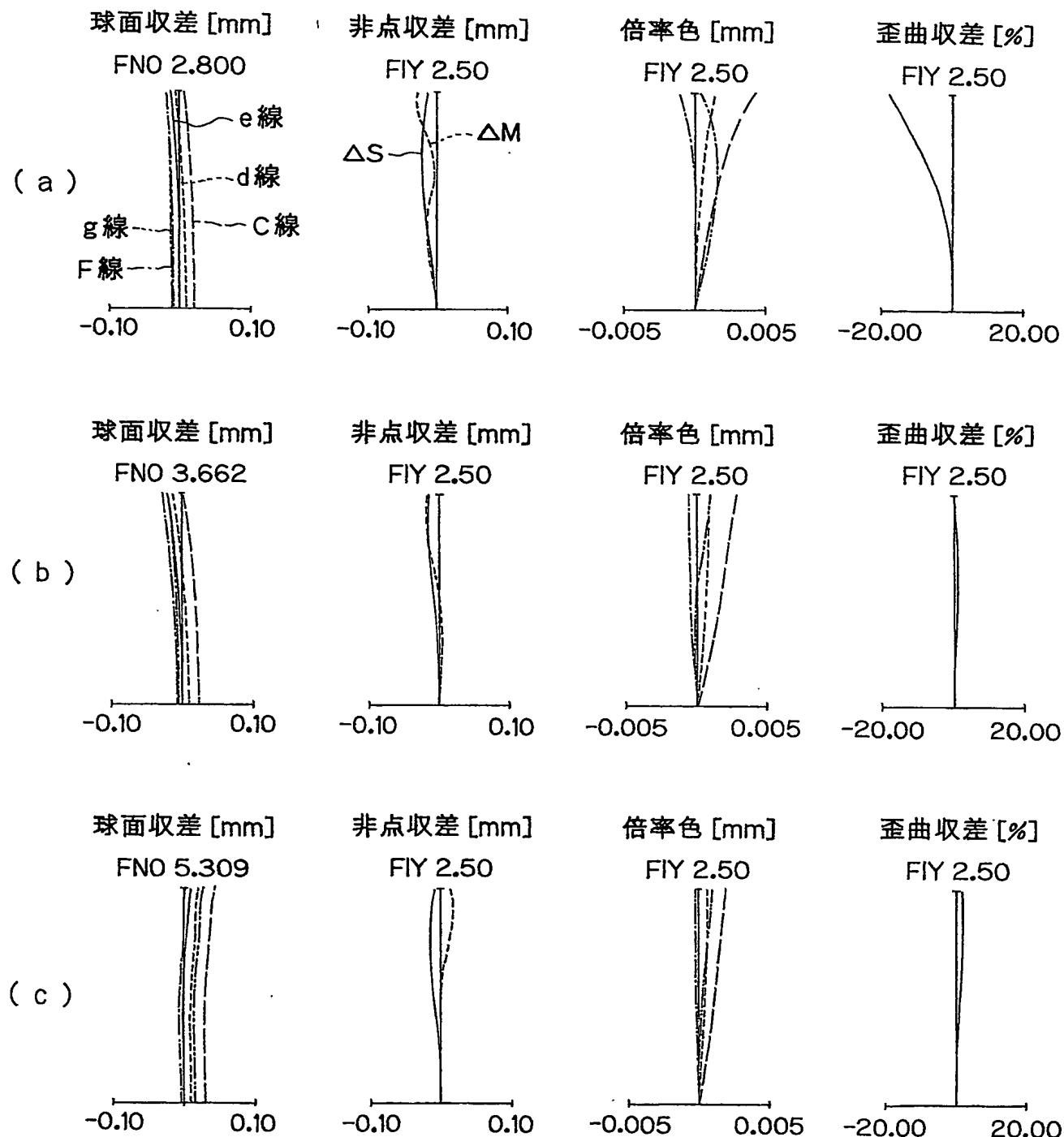
第39図



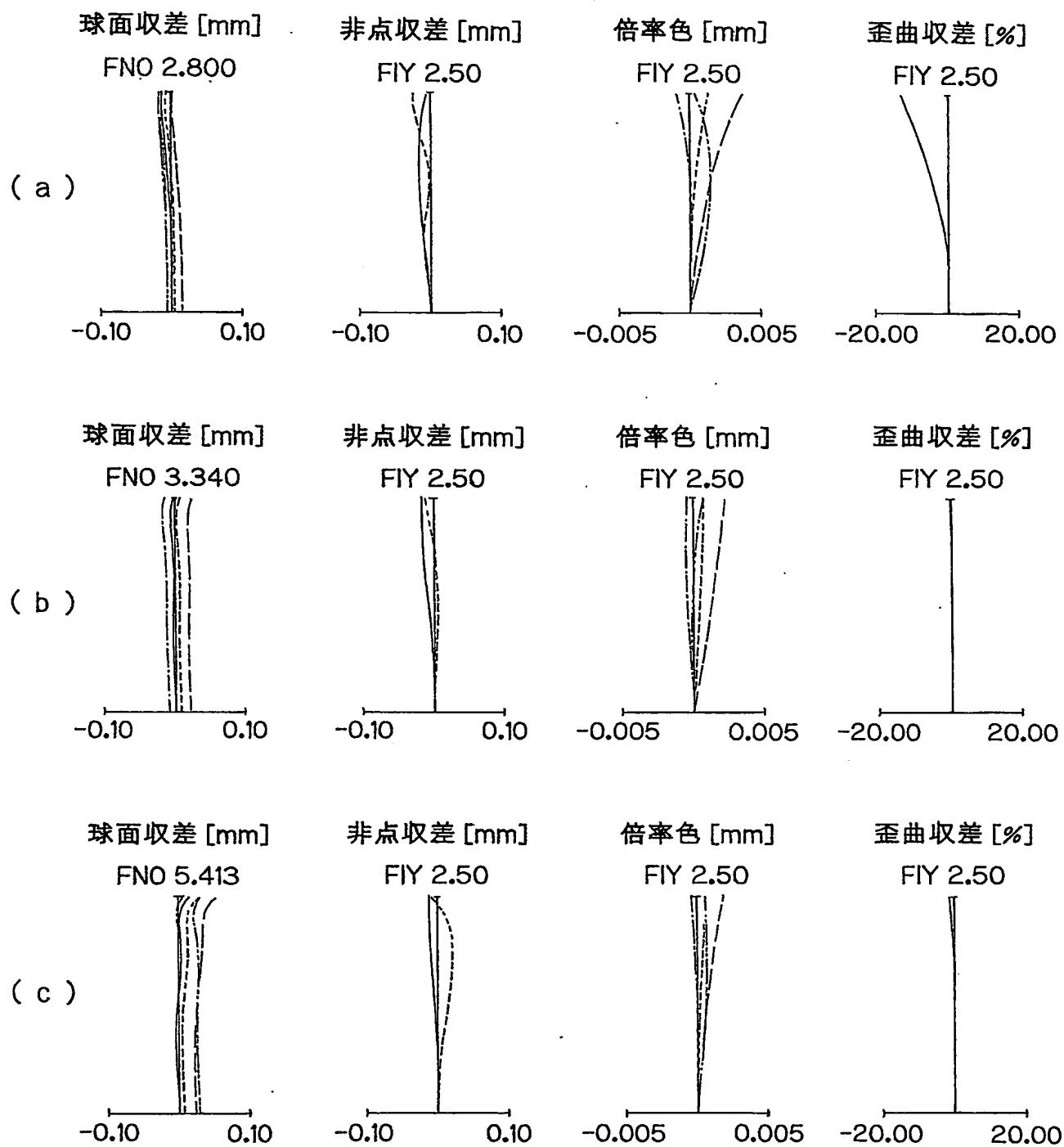
第 4 0 図



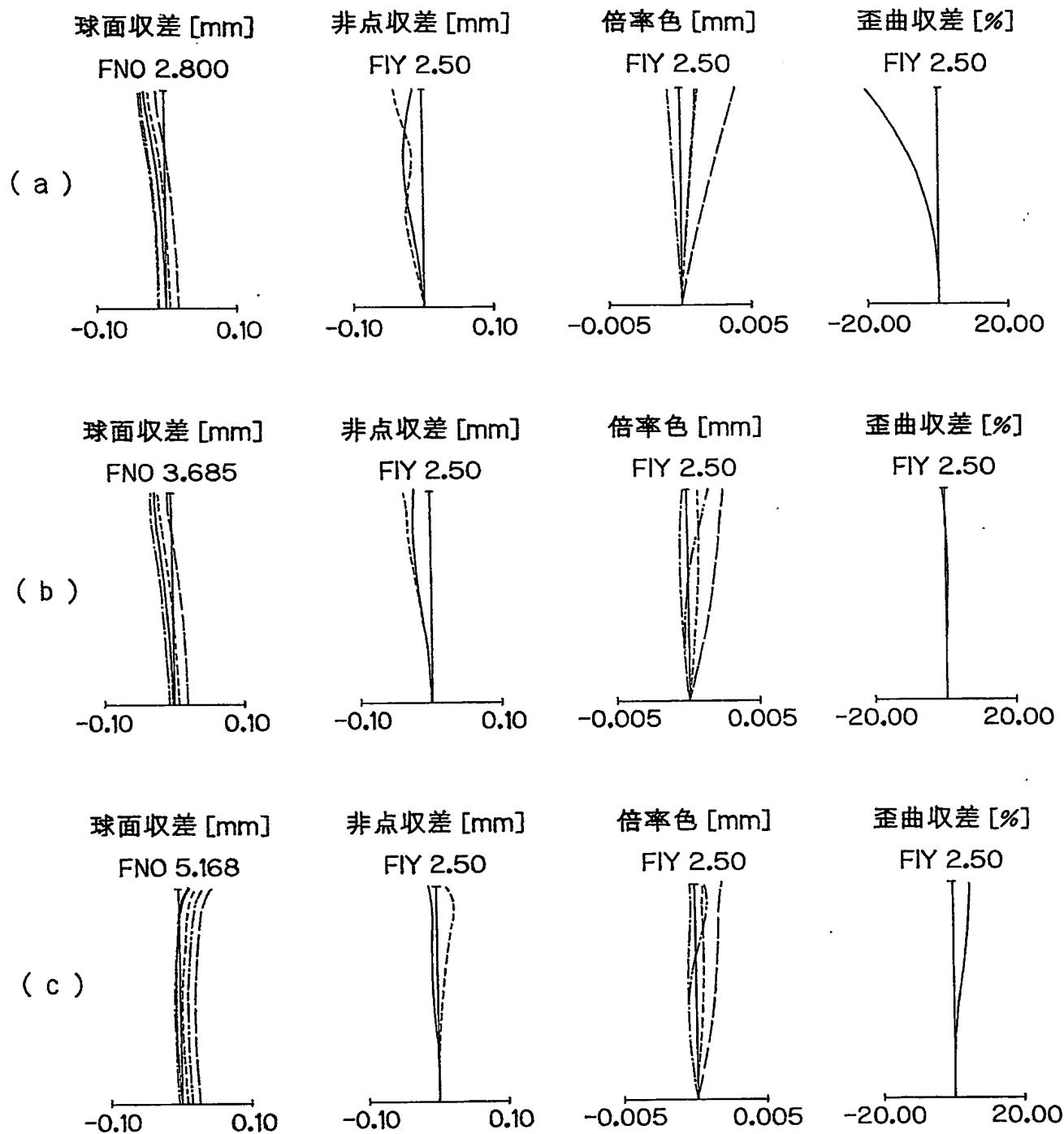
第41図



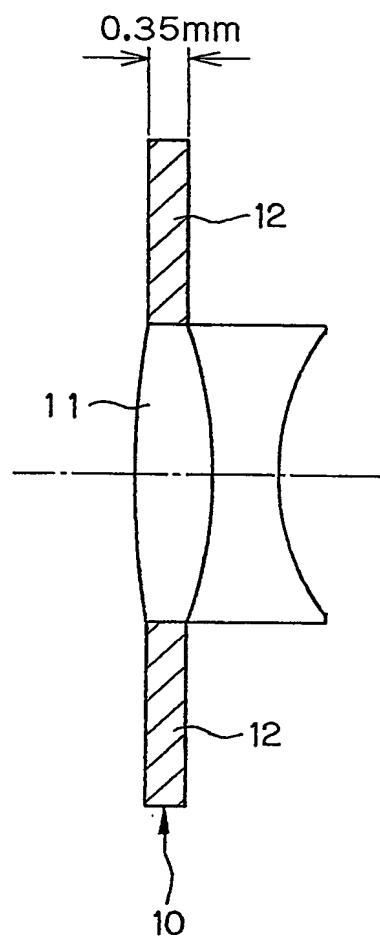
第42図



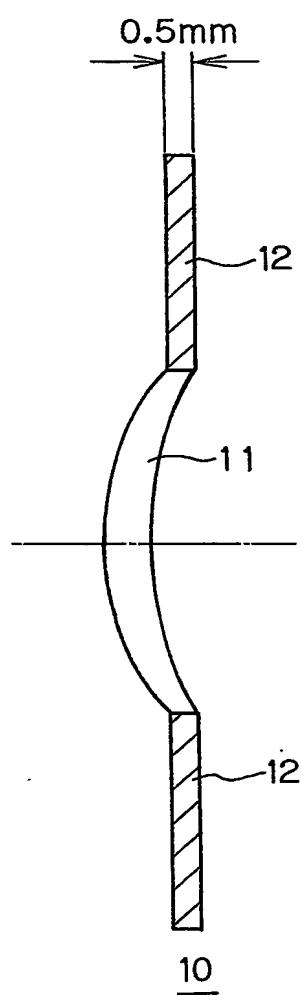
第 4 3 図



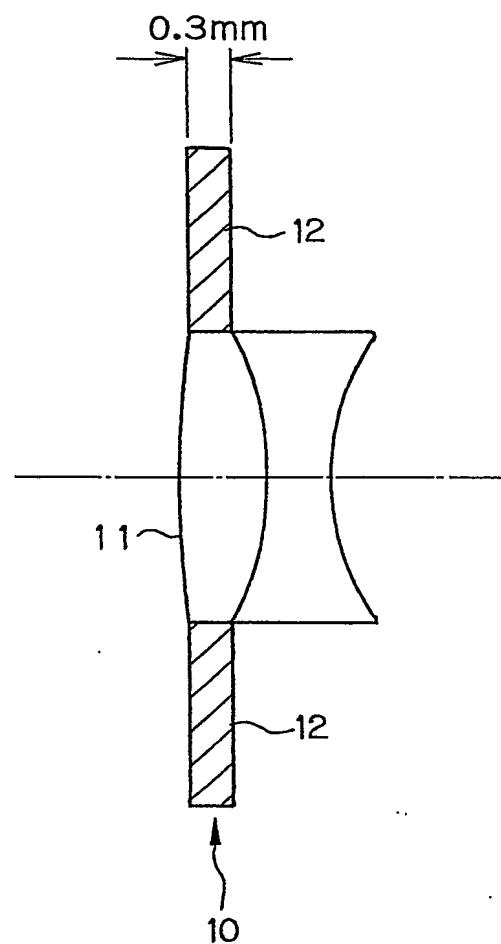
第44図



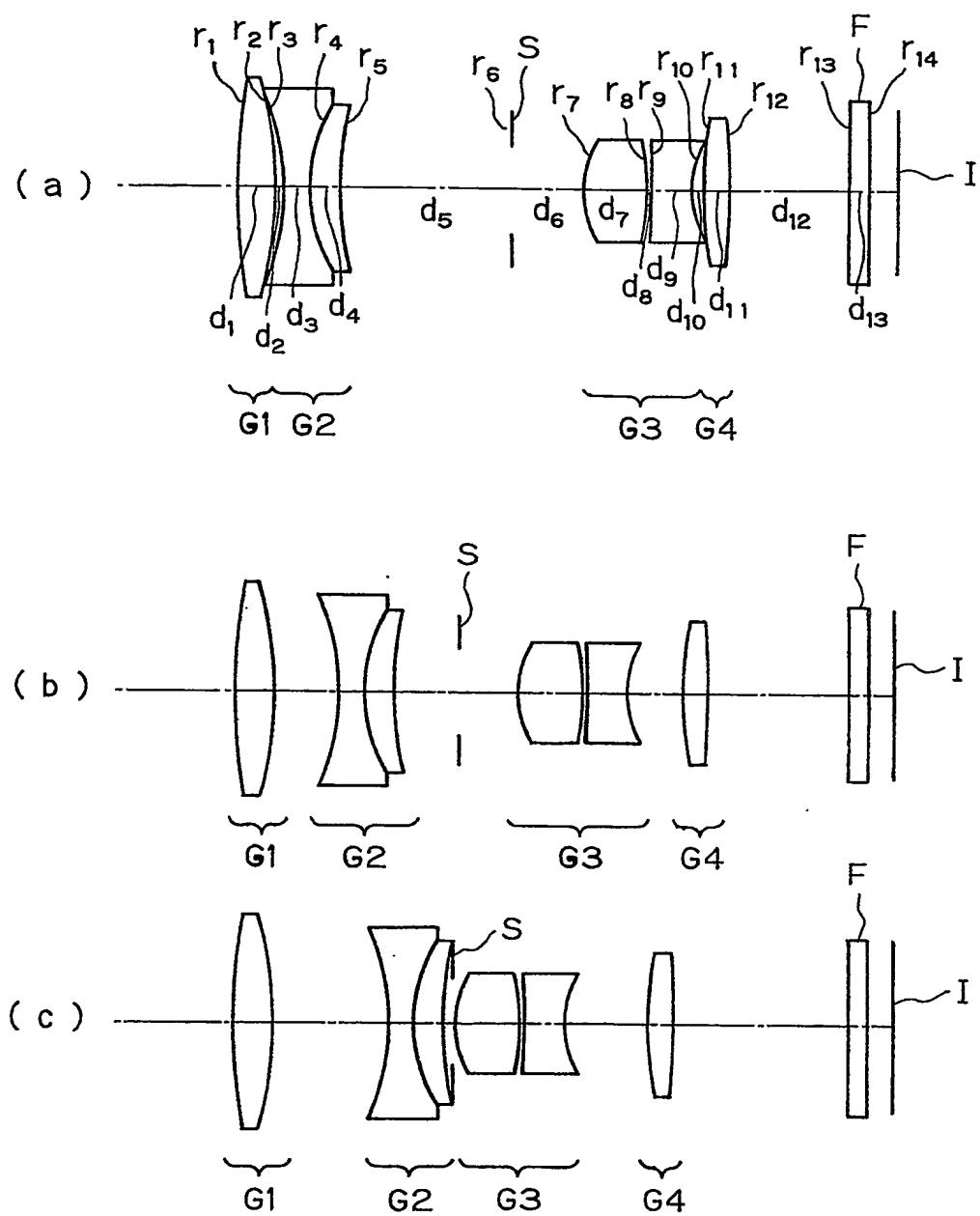
第45図



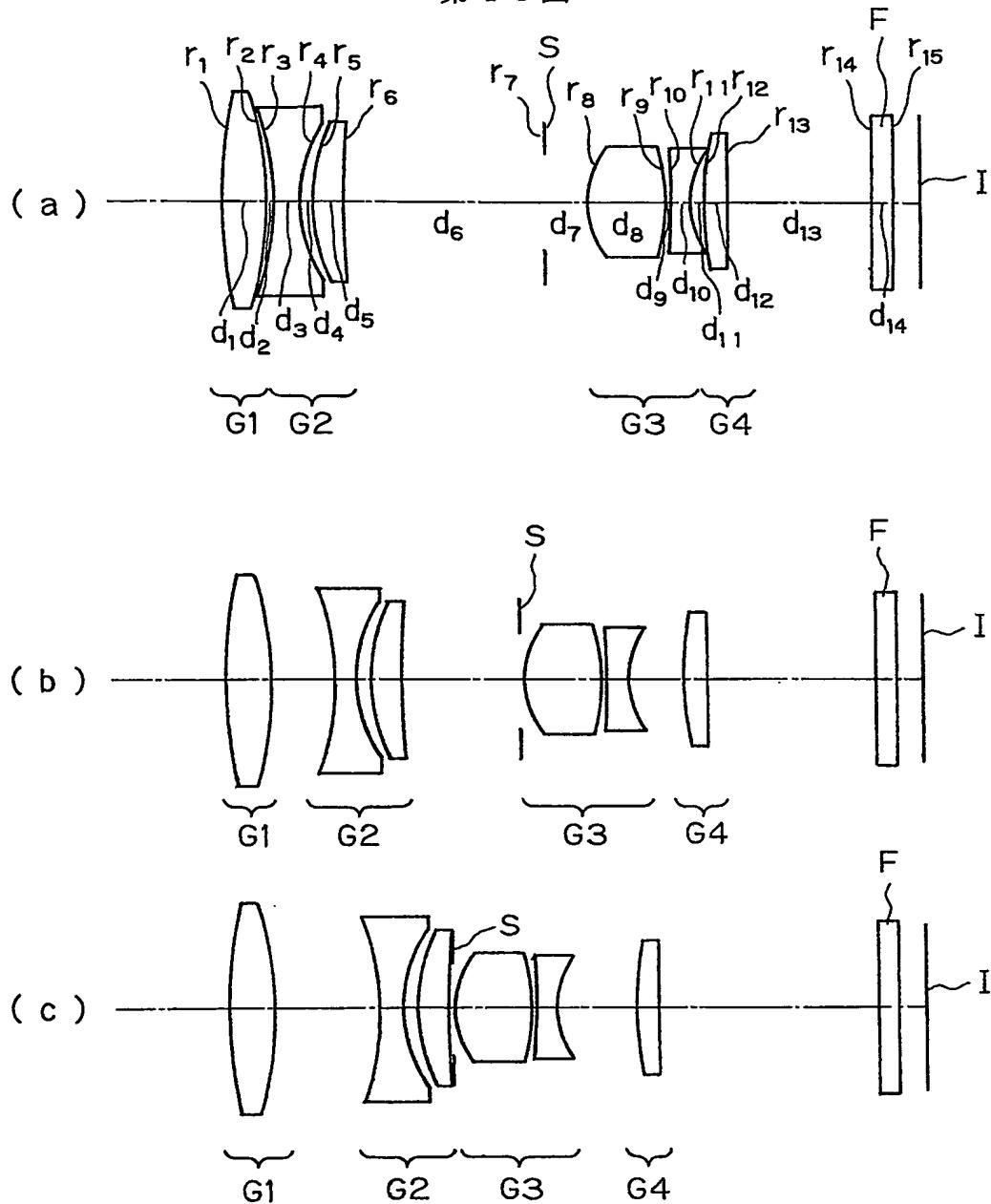
第46図



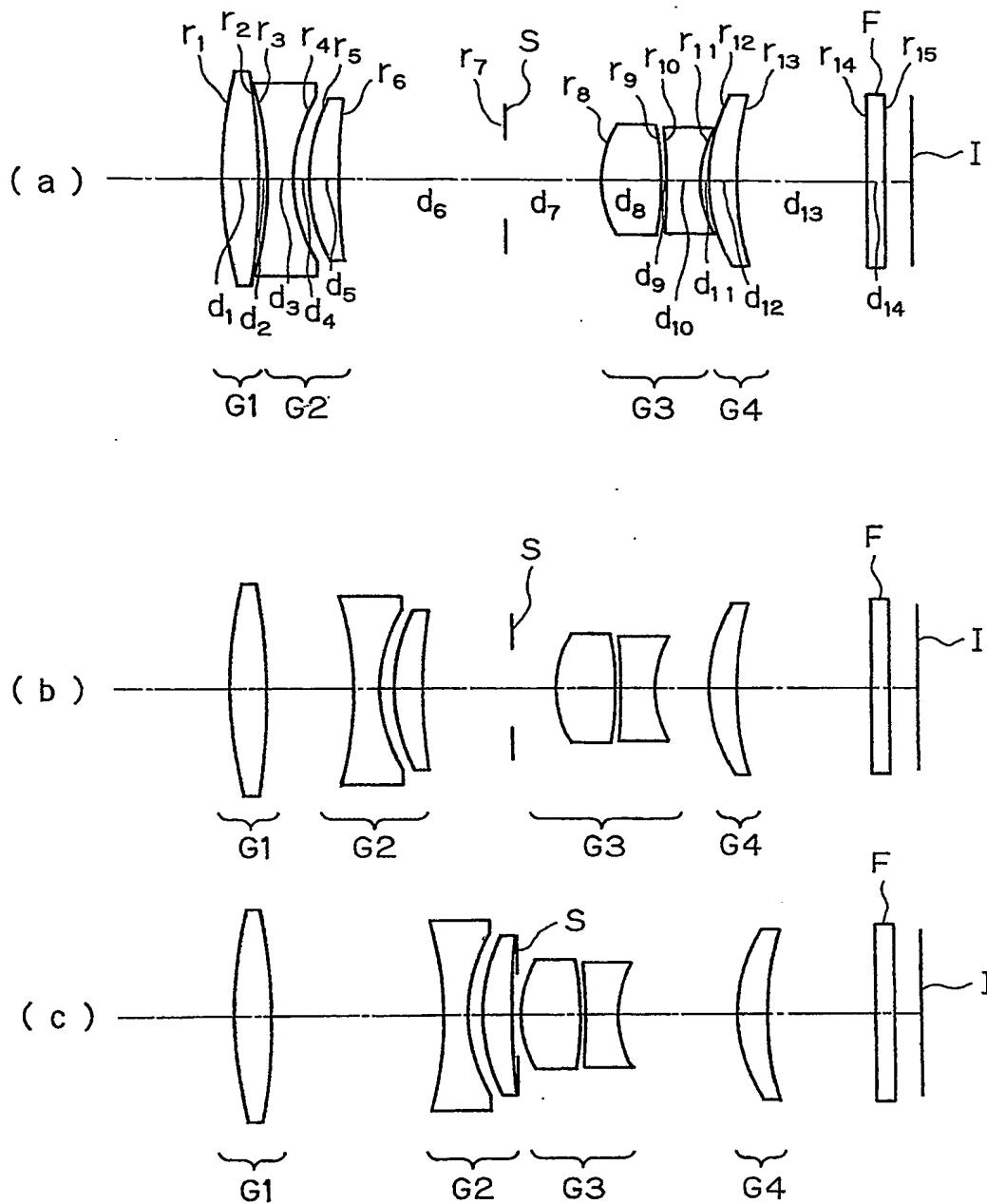
第47図



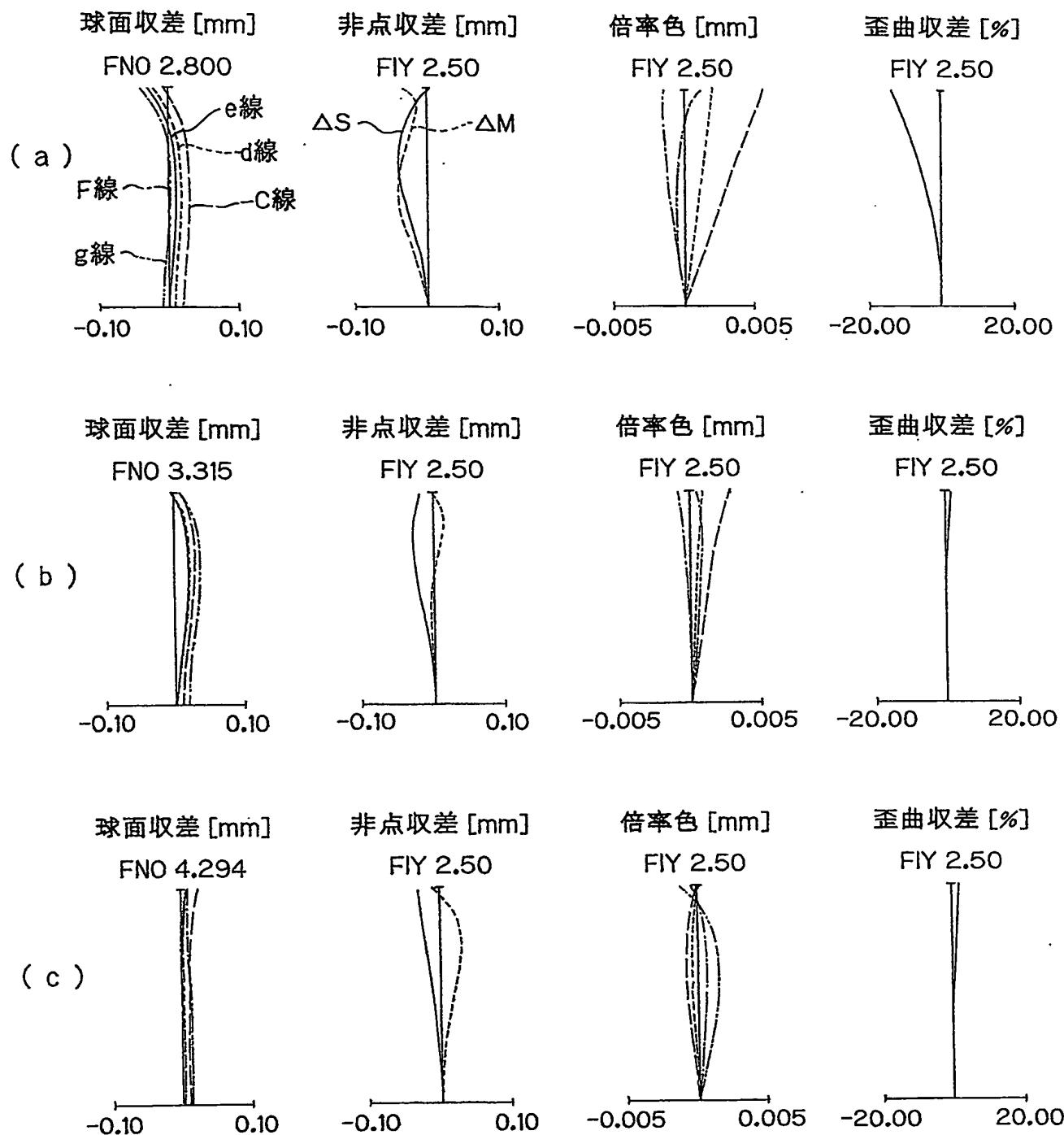
第48図



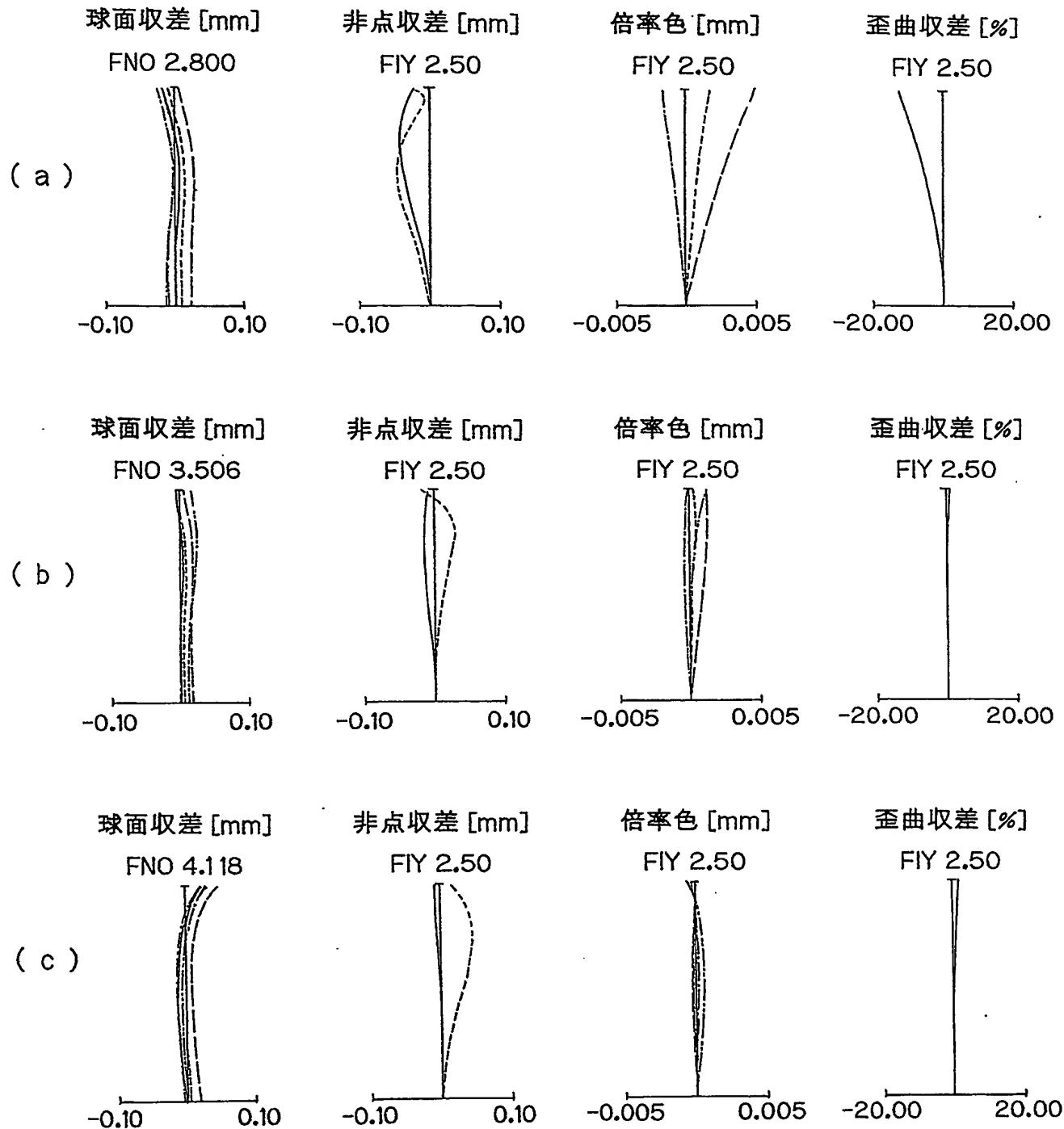
第49図



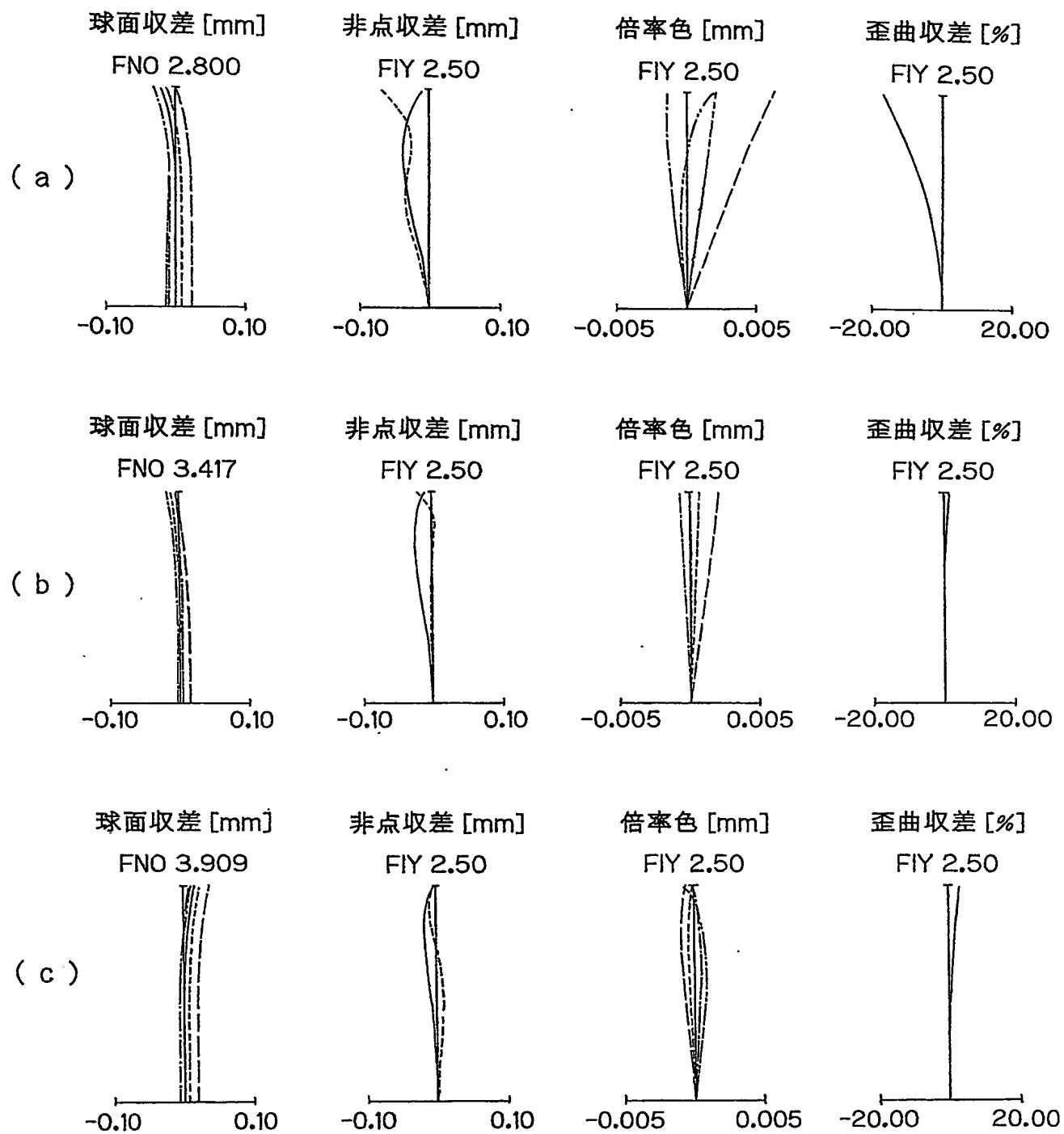
第 50 図



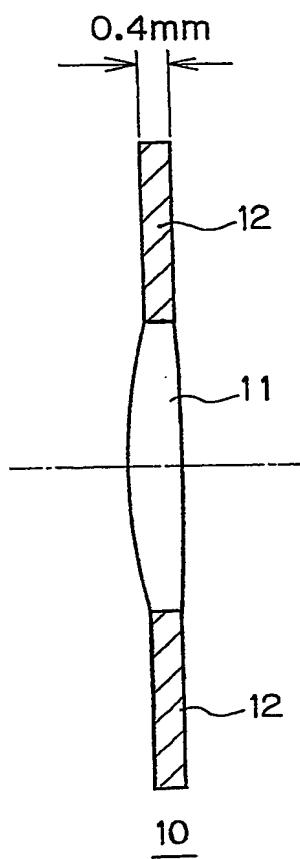
第 5 1 図



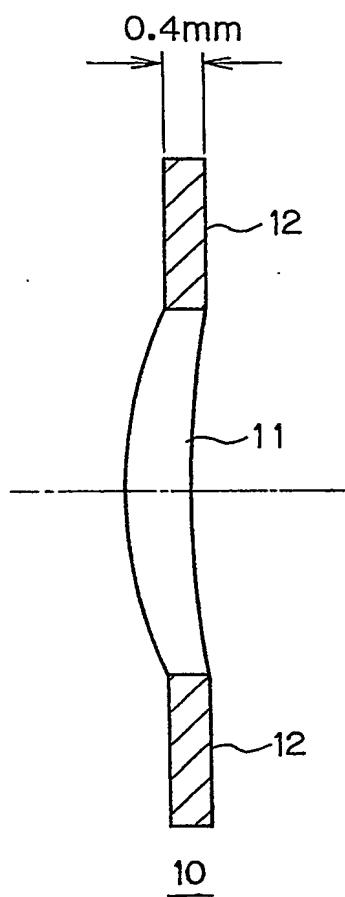
第 5 2 図



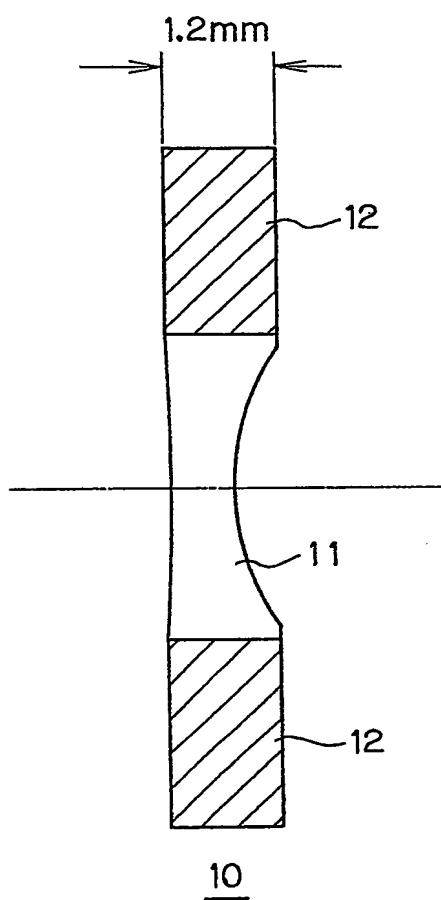
第 5 3 図



第 5 4 図

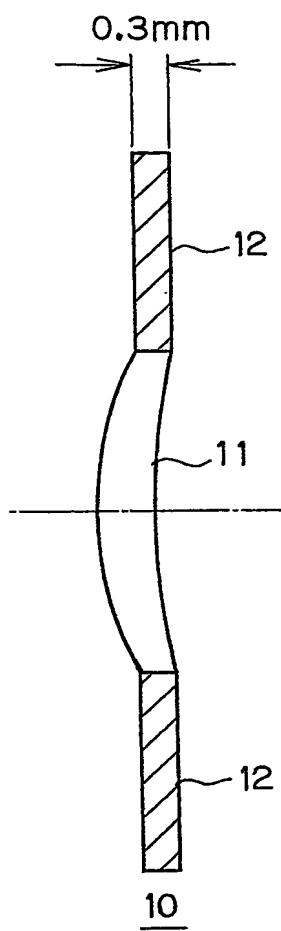


第 55 図

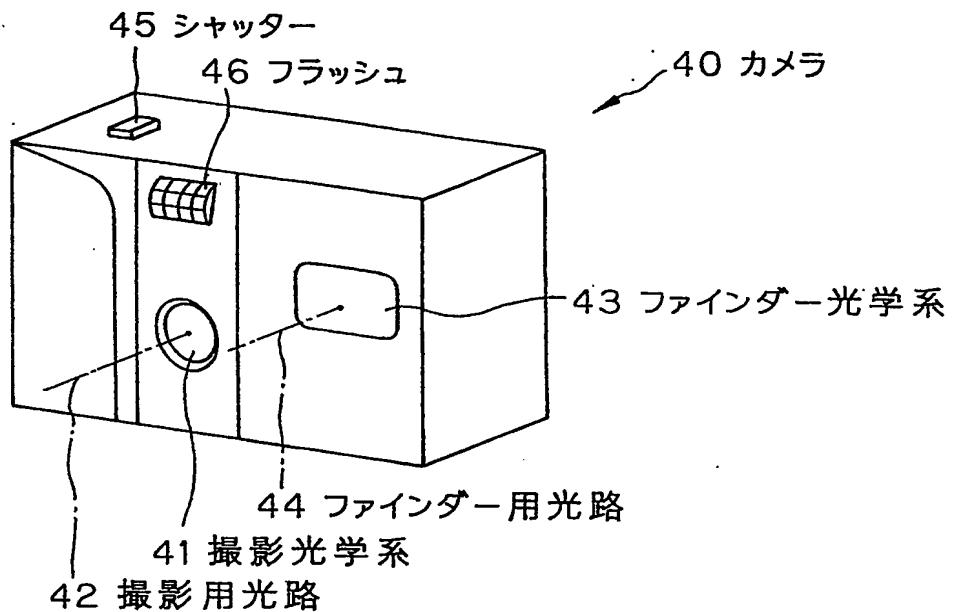


10

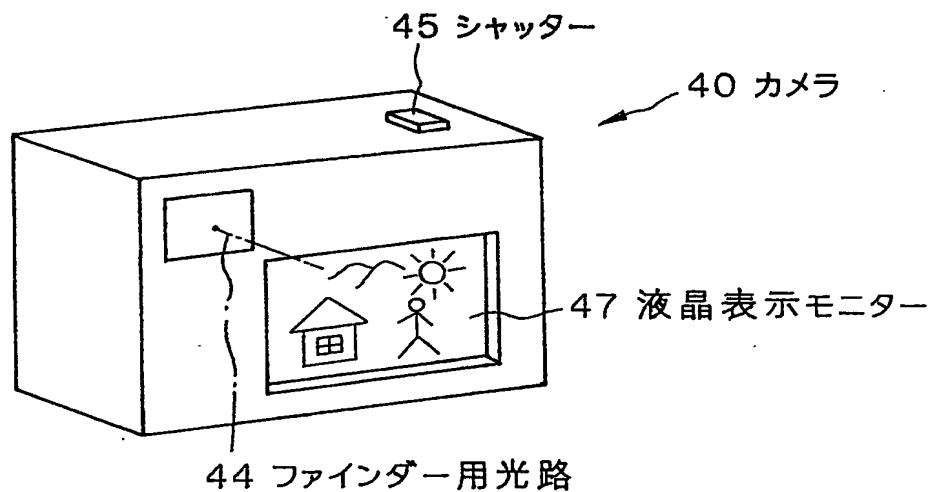
第 5 6 図



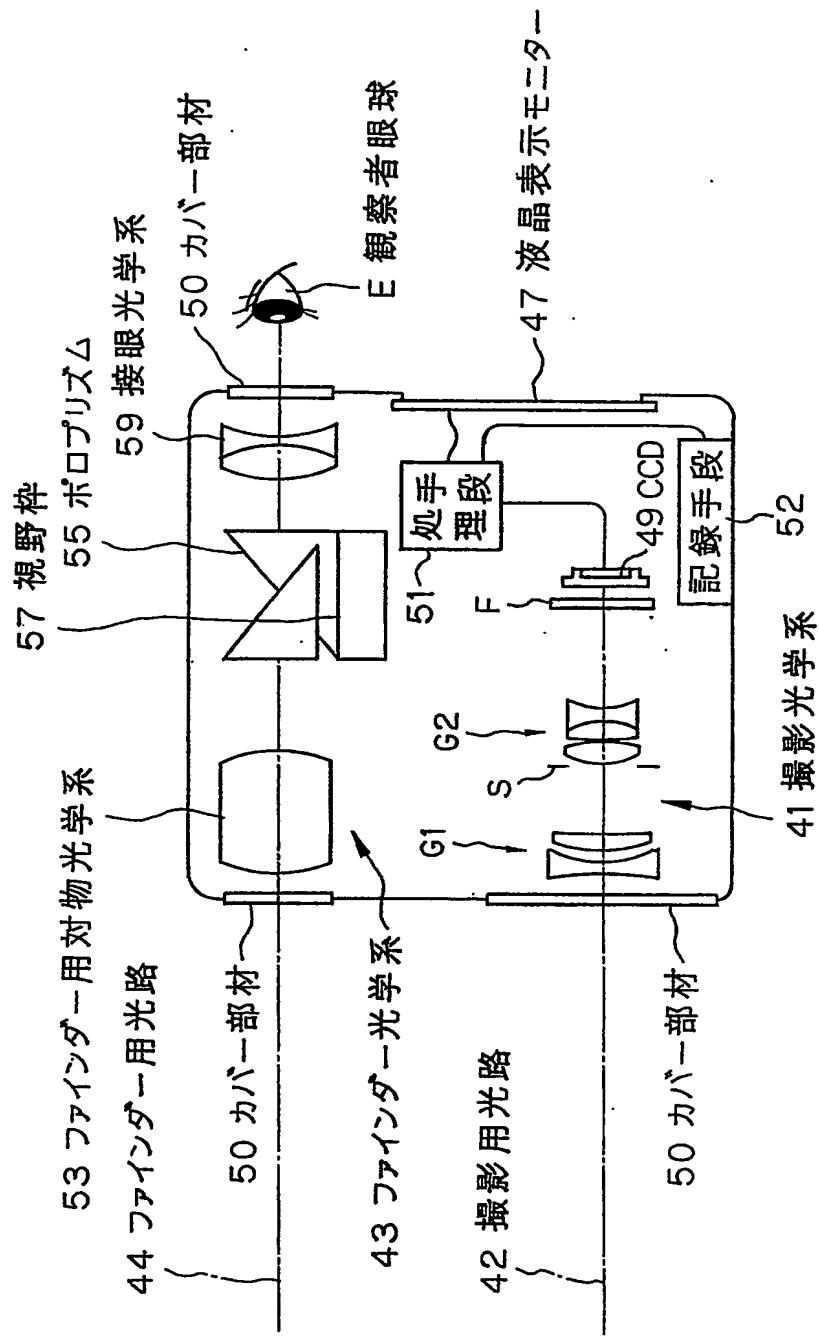
第 5 7 図



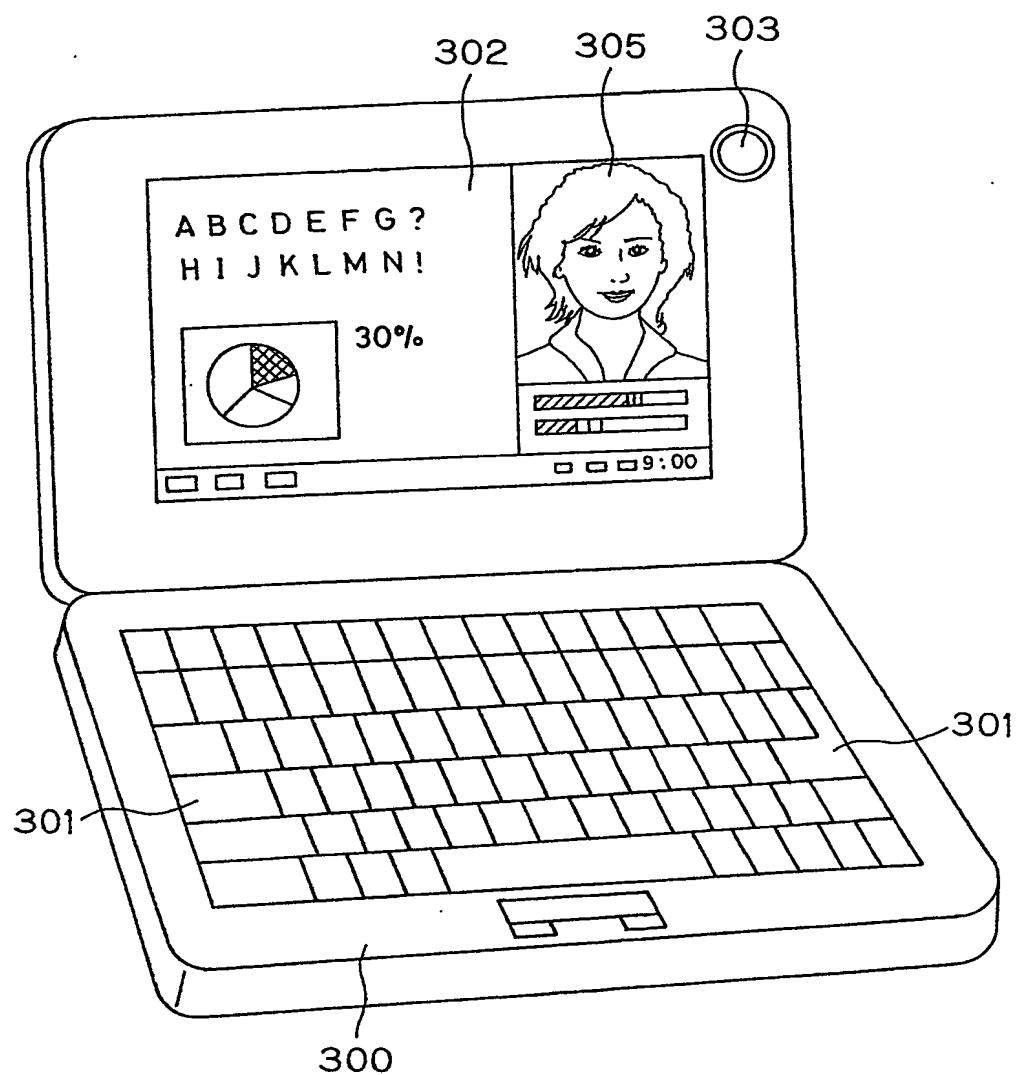
第 5 8 図



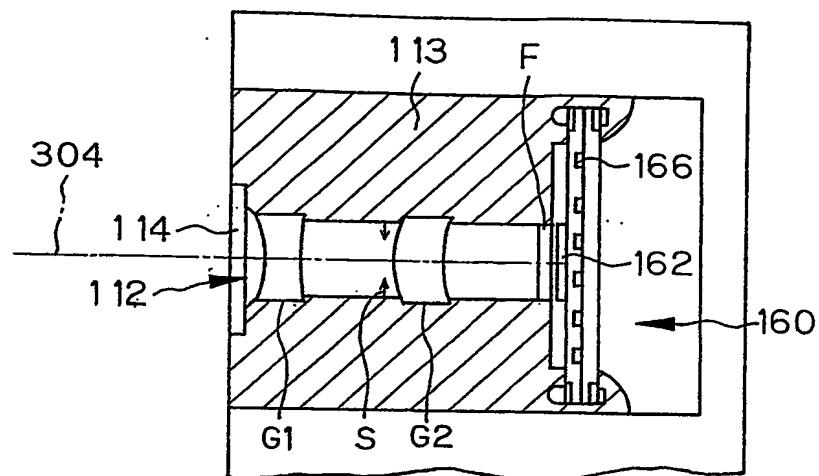
第 59 図



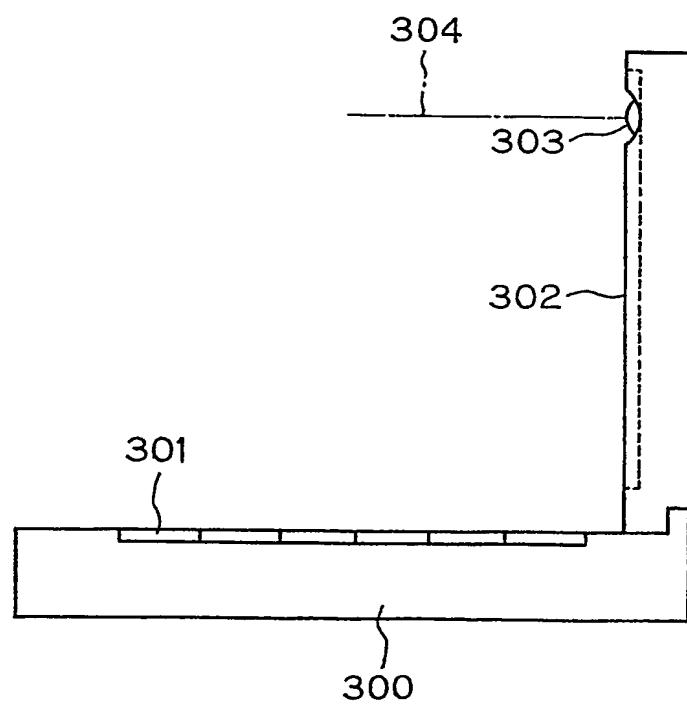
第 60 図



第 6 1 図



第 6 2 図



第 63 図

